

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему «Токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою» \_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ ІІ курсу , групи МВ – 81мп

\_\_\_\_\_ Сторожук В.І.

\_\_\_\_\_ (прізвище ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н., Беляєва А.Ю.

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з розділу \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2019

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського”**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання верстатів та машин**

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
Спеціалізація «Технології комп'ютерного проектування верстатів, роботів  
і машин»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

О.В.Шевченко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Сторожук Владислав Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою»

науковий керівник дисертації Беляєва А. Ю., к.т.н., доцент

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ ” листопада 2019 року № \_\_\_\_-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження Токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою

4. Вихідні дані: технічний паспорт верстату ПАБ-133; робочі креслення типової деталі «муфта»; припуск на обробку  $t = 2,5$  мм

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Вибір компоновки верстату; 2) Кінематичний розрахунок; 3) Конструкторський розрахунок ШВ; 4) Опис конструкції та принципу роботи складових верстату

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу \_\_\_\_\_

- 1) Аналіз рішень; 2) Загальний вигляд верстату; 3) Кінематична схема;;  
 4) Бабка шпindelьна; 5) Супорт крестовий; 6) Транспортна система деталей  
 7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

## 8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Аналіз компоновок		
	Кінематичні розрахунки		
	Конструкторські розрахунки		
	Опис частин модернізованого верстату		

Студент \_\_\_\_\_ Сторожук В.І.  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_ Бєляєва А.Ю.

## РЕФЕРАТ

*В дипломному проекті проаналізовано компоновки токарних верстатів. Запропоновано закріплювати деталь двома цангами в шпинделі. Проведено кінематичний та конструкторський розрахунок. Складено карту налаштування на обробку заданої деталі.*

Актуальність. При обробці з двох сторін валів, втулок, муфт та інших деталей такого типу виникає проблема співвісності. Вона просто вирішується обробкою цих двох сторін деталі за один установ. Затискання деталі в нерухомій шпиндельній бабці вимагає як мінімум двох рухомих супортів з обох боків в компоновці верстата. Це значно ускладнює та збільшує загальну конструкцію останнього. Задачу спрощення має вирішити компоновка токарного верстату з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою.

Тема. Токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою.

Метою проекту є підвищення продуктивності і точності обробки за рахунок обробки заготовки з двох боків за один установ та використання подвійного цангового затиску.

Задачі:

- аналіз компоновок верстатів з ЧПК;
- обґрунтування вибору базового верстата;
- кінематичні та конструкторські розрахунки;
- опис модернізованого верстату.

Об'єкт дослідження: процес обробки деталі в шпиндельній бабці на хрестовому супорті.

Суб'єкт дослідження: токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою.

Висновки:

1. В результаті аналізу креслення типової деталі «муфта» зроблено висновок, що потрібно обробляти її за один установ з обох боків.. Особливістю цього верстату є те, що шпиндельна бабка розташована на хрестовому супорті, а інструмент – на нерухомому корпусі.
2. Запропоновано в шпиндельній бабці розмістити дві дзеркально розташованих цанги для затиску деталі.
3. Проведено конструкторський розрахунок шпинделя та пристроїв подач. Прийнято у якості передньої та задньої опори радіально-упорний кульковий підшипник 104693 ГОСТ 831-75 класу точності 2 із граничним числом обертів шпинделя  $[n_{max}] = 4000 \text{ хв}^{-1}$
4. Запропоновано та описано всі необхідні частини та механізми верстату.

## РЕФЕРАТ

*В дипломном проекте проанализированы компоновки токарных станков. Предложено закреплять деталь двумя цангами в шпинделе. Проведено кинематический и конструкторский расчет. Составлена карта настройки на обработку заданной детали.*

Актуальность. При обработке с двух сторон валов, втулок, муфт и других деталей такого типа возникает проблема соосности. Она просто решается обработкой этих двух сторон детали за один установ. Зажим детали в неподвижной шпиндельной бабке требует как минимум двух подвижных суппортов с обеих сторон в компоновке станка. Это значительно усложняет и увеличивает общую конструкцию последнего. Задачу упрощения должна решить компоновка токарного станка с ЧПУ с подвижной шпиндельной бабкой.

Тема. Токарный станок с ЧПУ с подвижной шпиндельной бабкой.

Целью проекта является повышение производительности и точности обработки за счет обработки заготовки с двух сторон за один установ и использования двойного цангового зажима.

Задачи:

- анализ компоновок станков с ЧПУ;
- обоснование выбора базового станка;
- кинематические и конструкторские расчеты;
- описание модернизированного станка.

Объект исследования: процесс обработки детали в шпиндельной бабке на крестовом суппорте.

Субъект исследования: токарный станок с ЧПУ с подвижной шпиндельной бабкой. Субъект исследования: токарный станок с ЧПУ с крестовым суппортом.

Выводы:

1. В результате анализа чертежа типовой детали «муфта» сделан вывод, что нужно обрабатывать ее за один установ с обеих сторон. Особенностью этого станка является то, что шпиндельная бабка расположена на крестовом суппорте, а инструмент - на неподвижном корпусе.

2. Предложено в шпиндельной бабке разместить две зеркально расположенных цанги для зажима детали.

3. Проведено конструкторский расчет шпинделя и устройств подачи. Принято в качестве передней и задней опоры радиально-упорный шариковый подшипник 104693 ГОСТ 831-75 класса точности 2 с предельным числом оборотов шпинделя  $[n_{\max}] = 4000 \text{ мин}^{-1}$

4. Предложены и описаны все необходимые части и механизмы станка.

## ABSTRACT

*In the thesis project analyzed the layout of lathes. A dog Tsang in detail two spindles. A kinematic design and calculation. The map settings to process a given part. Recommendations for safety.*

Topicality. When machining two shafts, bushings, couplings and other parts of this type, there is a problem of coherence. It is simply solved by processing these two sides of the workpiece in one go. Clamping a workpiece in a fixed spindle head requires at least two movable supports on both sides in the machine arrangement. This greatly complicates and increases the overall construction of the latter. The simplification problem must be solved by the layout of a CNC lathe with a movable spindle headstock.

Topic. CNC lathe with movable spindle headstock.

The aim of the project is to improve the productivity and precision of machining by machining the workpiece on two sides at one site and using a double collet clamp.

Objectives:

- Analysis of CNC configurations;
- Justification for choice of the base machine;
- Kinematic calculations and design;
- A description of the upgraded machine.

Object of study: the process of machining a workpiece in a spindle headstock on a cross support.

Subject of study: CNC lathe with movable spindle headstock.

Conclusions:

1. The analysis of drawing typical details "clutch" concluded that it is necessary to process a single establishments on both sides.. Feature of this Machine is that the spindle is located on Phillips calipers and tools - to fixed housing.



2. A spindle in place a grandmother two mirror located collet clamping for details.

3. A spindle design and calculation devices innings. Adopted as the front and rear bearing angular contact ball bearing 104693 GOST 831-75 accuracy class 2 with limiting the number of revolutions of the spindle  $[n_{\max}] = 4000 \text{ min}^{-1}$

4. All necessary parts and mechanisms of the machine are proposed and described.

## Зміст

### Вступ

#### 1. Завдання та вирішення проблеми

1.1 Деталь, що обробляється

1.2 Напрямки вирішення задачі

1.3 Компоновки існуючих верстатів та їх аналіз

1.4 Запропоноване рішення

#### 2. Загальні розрахунки

2.1 Кінематична будова верстату

2.2 Налаштування на обробку заданої деталі

2.3 Призначення режимів різання

2.4 Потужність двигуна

2.5 Шпиндель

2.5.1 Дані для розрахунків шпинделя

2.5.2 Схема шпиндельного вузла

2.5.3 Підшипники

2.5.4 Визначення реакцій в опорах та їх радіальної твердості  
(піддатливість)

2.5.5 Оптимальна відстань  $l_{opt}$  між опорами

2.5.6 Радіальна твердість шпиндельного вузла

2.5.7 Радіальне биття опор

2.5.8 Властивості, що демпфірують, ШВ

2.5.9 Власна частота обертання

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сторожик			Токарний верстат з ЧПК з рухомою шпиндельною дабкою	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Беляєва						
Н. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ММІ, МВ-81мп		
Затверд.								

2.6 Приводи подач верстату

2.7 Зубчасто-пасова передача

### 3. Запропонований верстатБазовий опис

3.2 Основа

3.3 Траверса

3.4 Супорт хрестовий

3.5 Рухома шпиндельна бабка

3.6 Цанговий затискний механізм

3.7 Маніпулятор подачі заготовок

3.8 Маніпулятор забирання деталей

3.9 Лоток введення заготовок

3.10 Лоток виведення деталей

3.11 Система керування верстатом

3.12 Основні параметри верстату

3.13 Потужність та силові навантаження

3.14 Загальний опис конструкції

Висновки

Перелік посилань

Додатки

## Вступ

Машинобудування є основою науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства. Забезпечення корінної реконструкції і випереджаючого розвитку машинобудівного комплексу, насамперед верстатобудування, виробництва обчислювальної техніки, приладобудування, електротехнічної й електронної промисловості, потребує широкого впровадження металорізальних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), верстатних модулів, робото технічних, роторних і роторно-конвеєрних комплексів.

В даний час велика увага приділяється вдосконаленню структури верстатів, що випускаються, верстатних комплексів і, у першу чергу, верстатів з ЧПУ, багатоопераційних верстатів типу «оброблюючи центр», важких верстатів, верстатів високої точності, автоматизованих і роботизованих комплексів і ліній, гнучких виробничих систем (ГВС).

Основні напрямки розвитку світового верстатобудування підпорядковані досягненню наступних головних цілей: підвищення продуктивної обробки; підвищення якості обробки; зниження витрат на обробку; поліпшення умов праці; інтелектуалізація виробництва; розширення технологічних можливостей обладнання.

На сучасному етапі розвитку машинобудівного комплексу і, зокрема, верстатобудування намітилися наступні головні тенденції:

- 1) широке застосування концентрації (поєднання) операцій, що веде до підвищення продуктивності обробки при зниженні її трудомісткості;
- 2) застосування ресурсозберігаючих маловідходних і безвідхідних технологій, що підвищують коефіцієнт використання металу та скорочують витрати енергії;

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

3) поєднання в одному верстаті декількох методів обробки (шліфування і електрохімічної, механічної і термічної, різальної і тонко пластичного деформування, зубофрезерування і зубошліфування, точіння і протягування і т.д.), що скорочує кількість обладнання і знижує трудомісткість виготовлення;

4) агрегатно-модульний принцип побудови верстатів, верстатних комплексів і іншого технологічного обладнання, що підвищує ступінь його уніфікації, якість виготовлення і складання, надійність роботи, скорочує терміни і витрати на проектування і виготовлення;

5) прагнення до прецизійної й ультра прецизійної обробки (наприклад, таких деталей, як барабани і диски пам'яті, елементи інтегральних схем, дзеркальні поверхні телескопів і т.п.) шляхом скорочення кінематичних ланцюгів і заміни механічних ланцюгів електричними, що підвищує якість обробки і знижує металоємність обладнання;

6) прагнення до безлюдної технології за рахунок гнучкої комплексної автоматизації, широкої роботизації, застосування діагностичних систем, що підвищує коефіцієнти змінності і використання обладнання;

7) мініатюризація систем управління і можливість нарощування керуючих координат систем з ЧПК;

8) застосування верстатів з ЧПУ поряд з високопродуктивними верстатами-автоматами в благо номенклатурному багатосерійному та в масовому виробництвах.

## 1. Завдання та вирішення проблеми

### 1.1 Деталь, що обробляється

Деталь (виріб), що обробляється.

1. Назва: муфта.
2. Робоче креслення заданої деталі див. рис. 1.1.

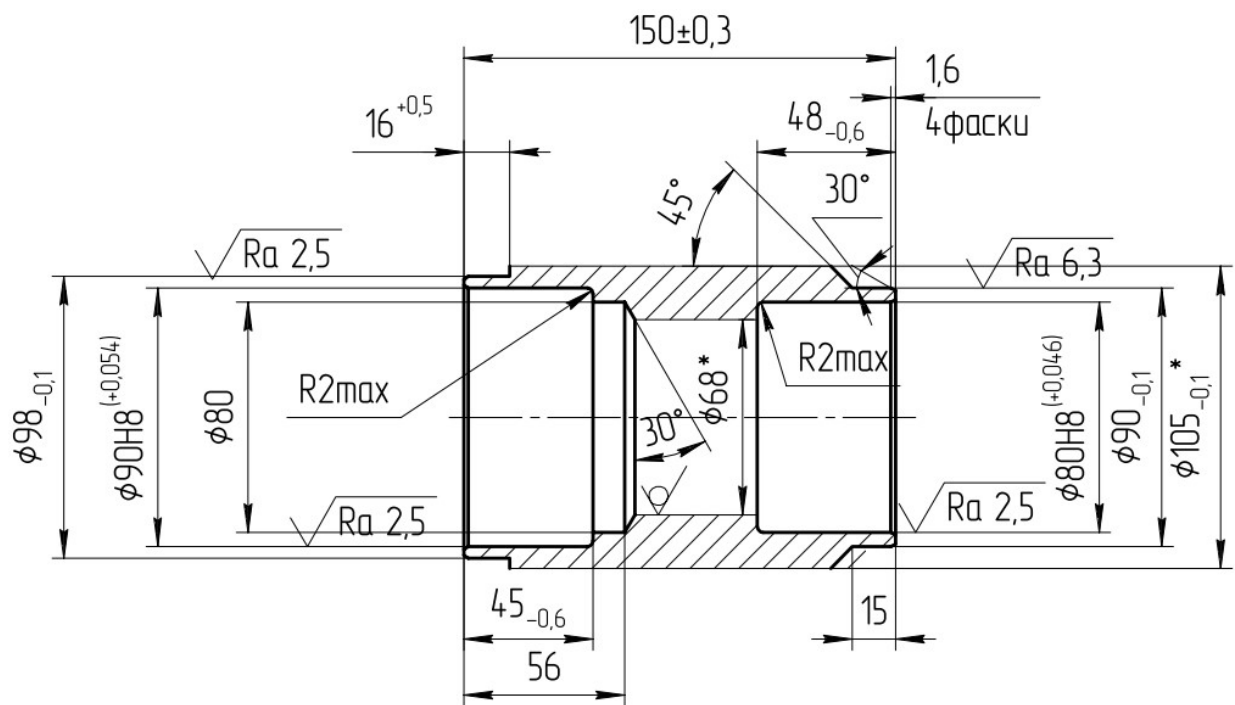


Рис. 1.1 – Робоче креслення заданої деталі

Деталь (виріб), що обробляється:

1. Матеріал: сталь 40.
2. Твердість: 230 ... 270 НВ.
3. Маса: 2,0 кг.
4. Заготовка (лиття, штамповка і.т.д.): лиття.

Обробка деталі:

1. Зміст переходів, що підлягають виконанню на верстаті:

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

3

Послідовне виконання чорнової токарної обробки двох сторін деталі відповідно до вимог конструкторської документації і технологічної документації. За базовими технологічними переходами буде проводитися оцінка технічних можливостей і продуктивності верстата:

1. Підрізка лівого торця.
2. Розточування лівого торця (чорновий прохід).
3. Розточування лівого торця (чистовий прохід).
4. Підрізка правого торця.
5. Розточування правого торця (чорновий прохід).
6. Розточування правого торця (чистовий прохід).

Додаткові характеристики обробки:

Деталь - відливка без обробки.

## 1.2 Напрямки вирішення задачі

Розвиток машинобудування і безперервне вдосконалення зв'язаний із прогресом верстатобудування так, як металорізальні верстати разом з іншими видами технологічних машин здійснюють виготовлення любых нових видів устаткування.

Головною задачею для підвищення продуктивності є впровадження устаткування і машин з вбудованими засобами мікропроцесорної техніки: роботехнічних комплексів (РТК), багатоопераційні верстати з числовим програмним устаткуванням і гнучкі виробничі системи.

Верстат із ЧПК є самоврядна робоча машина, органічно зв'язана з обчислювальною машиною, що працює в реальному часу, яка перетворює електронну інформацію у дискретні сигнали керування.

Простота переналагодження і підналагодження є загальним для верстатів із ЧПК і універсальних верстатів з ручним керуванням. Так,

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

достатньо ввести в пристрій ЧПК нову керуючу програму для переналагодження верстата з ЧПК і всі необхідні для наладчика відомості, а для підналагодження – достатньо використовувати коректори ЧПК.

Використовують для прискорення переналагодження: інструмент, що попередньо налаштований на розмір; універсально-збірні пристосування затискні; за допомогою коректорів налаштовують розмір; коректування режимів різання в процесі обробки з пульта.

### 1.3 Компонувки існуючих верстатів та їх аналіз

Металорізальні верстати з ЧПК класифікують:

- 1) за ступенем автоматизації - напівавтомати і автомати;
- 2) за призначенням - багатоцільові і одноцільові;
- 3) за ступенем універсальності – універсальні, спеціалізовані, спеціальні;
- 4) за характером виконуваних робіт – фрезерні, свердлильні, токарні, шліфувальні, та ін.;
- 5) за компонованням - горизонтальні, вертикальні, похилі;
- 6) за типом приводу - з електро-приводом, з пневмоприводом, з гідроприводом;
- 7) за ступенем точності: Н-нормальної, П-підвищеної, В-високої, А-особливо високої і С - надвисокої,
- 8) за принципом прискорення технологічного процесу - для одночасної обробки декількох деталей або одночасної обробки однієї деталі (з декількох сторін;
- 9) за можливістю розв'язувати технологічні завдання – контурні, позиційні комбіновані, інші;
- 10) за наявністю зворотнього зв'язку - замкнуті і розімкнуті.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5



Токарні верстати з ЧПК за призначенням діляться на:

- патронні (АТПР2М, 1П714Ф3, 1734Ф3, 1П756ДФ3, КТ41Ф3) - для обробки коротких деталей при їх закріпленні консольно в затискному патроні;
- центрові (1П752МФ3, 16БФ3, 16К30Ф3, 1Б732Ф3) - для обробки валів у центрах, оснащені задньою бабкою;
- патронно-центрові.

Розміщення напрямних супорта є дуже важливою частиною компонування верстатів:

- горизонтальні (16К20Ф3, 1П340Ф30, 1Б616Ф3, 16К30Ф30) - зі збереженням візуальної подібності універсальним токарним і револьверним верстатам;
- вертикальні або похилі (1П420Ф30) - перевагою є поліпшення сходу і видалення стружки, зручність обслуговування, можливість розміщення ходового гвинта між напрямними, яке підвищує точність переміщення супорта.

Токарні верстати нового покоління можуть використовуватися як для обробки, так і для вимірювання деталей. До них відноситься, наприклад, верстат 1П420Ф30.

Як правило, токарні верстати з ЧПК мають дві керовані координати:

Z - переміщення супорта вздовж осі шпинделя;

Y - переміщення супорта перпендикулярно осі шпинделя.

На каретці верстату встановлюється або резцетримач (коли зміна інструменту відбувається з магазину), або поворотна інструментальна револьверна головка (РГ), що може мати два положення осі повороту - горизонтальне або вертикальне. В умовах паралельної обробки верстати оснащують двома РГ.

Останнім часом будуються токарні верстати з ЧПК не тільки на базі універсальних токарних (РТ705Ф3, 16К20Ф3, 16К20РФ3, 16К30Ф30), патронноцентрових (1Б752МФ3), токарно-револьверних (1Б340Ф30), але і

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

таких автоматів, для яких існує наявність розподільчого валу, і застосування їх в крупносерійному і масовому виробництві.

Подальше розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності токарних верстатів з ЧПК йде по шляху застосування декількох РГ і супортів, концентрації операцій, підвищення жорсткості конструкції за рахунок нових компоновок (рисунок 1.2).

Неможливо вести обробку одночасно більше, ніж двома інструментами, при точінні на токарних верстатах з ЧПК традиційних компоновок тому, що є тільки два незалежних супорта з РГ (рисунок 1.3 а), одна з яких для зовнішніх, а інша для внутрішніх поверхонь.

Одночасно з двох сторін дозволяють обточити вали сучасні токарно-центрові верстати (рис. 1.3 б, в) при кріпленні з торців і за середню частину.

Можлива обробка довгих деталей концентрацією операцій (чотиресупортна обробка) і з високою точністю при розміщенні шпиндельної бабки між центрами (рис. 1.3 в) та при її переміщенні. Можливе на верстатах принципово нових компоновок підвищення концентрації інструментів (рис. 1.3 г), у яких 3...5 супортів працюють за принципом розподілення припуску між різцями як по глибині, так по довжині обробці. Такі супорти мають поздовжні напрямні. Наближує верстат до напівавтомата великосерійного виробництва якісно новий рівень. Він передбачає поділ переміщень робочого органу на допоміжні (налагоджувальні) і основні (робочі), що виконуються роздільно супортами і незалежними ріжучими інструментами (рисунок 1.3 д, е) - багаторіздеве пристосування. При цьому налагоджувальні переміщення здійснюються електродвигунами, а затиск - гідроциліндрами.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

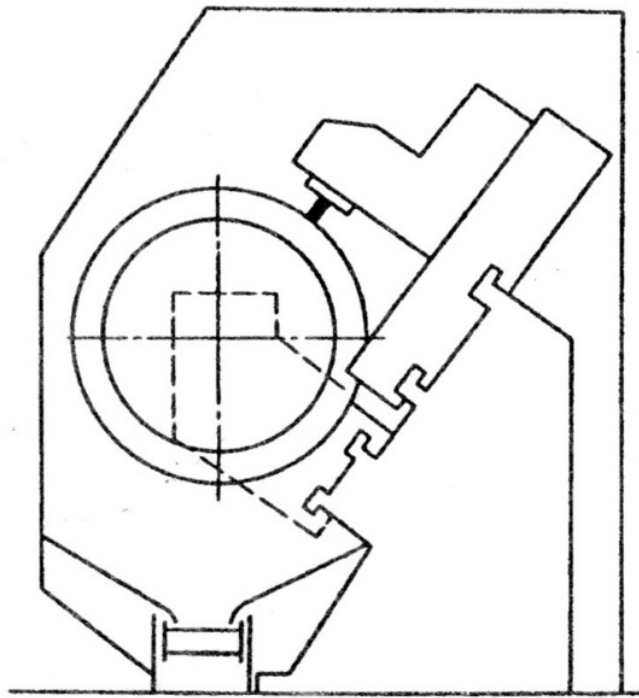


Рисунок 1.2 – Компонівка верстата фірми «Haas»

В якості основного напрямку багато фірм вибрали модульний принцип конструювання. Наприклад, фірма «Voley» розробила п'ять варіантів токарного верстату з ЧПК (рис. 1.4), що забезпечує точність обробки різних деталей по діаметру у всьому своєму діапазоні частот обертання шпинделя з частотою  $6300\text{min}^{-1}$ . Можливість автономного приводу кожного інструменту, встановленого в РГ, в ньому передбачена. Гаму одно- і багатшпиндельних токарних верстатів з ЧПК створила фірма «Emag». Вони побудовані за модульним принципом з агрегатних вузлів (рис. 1.5).

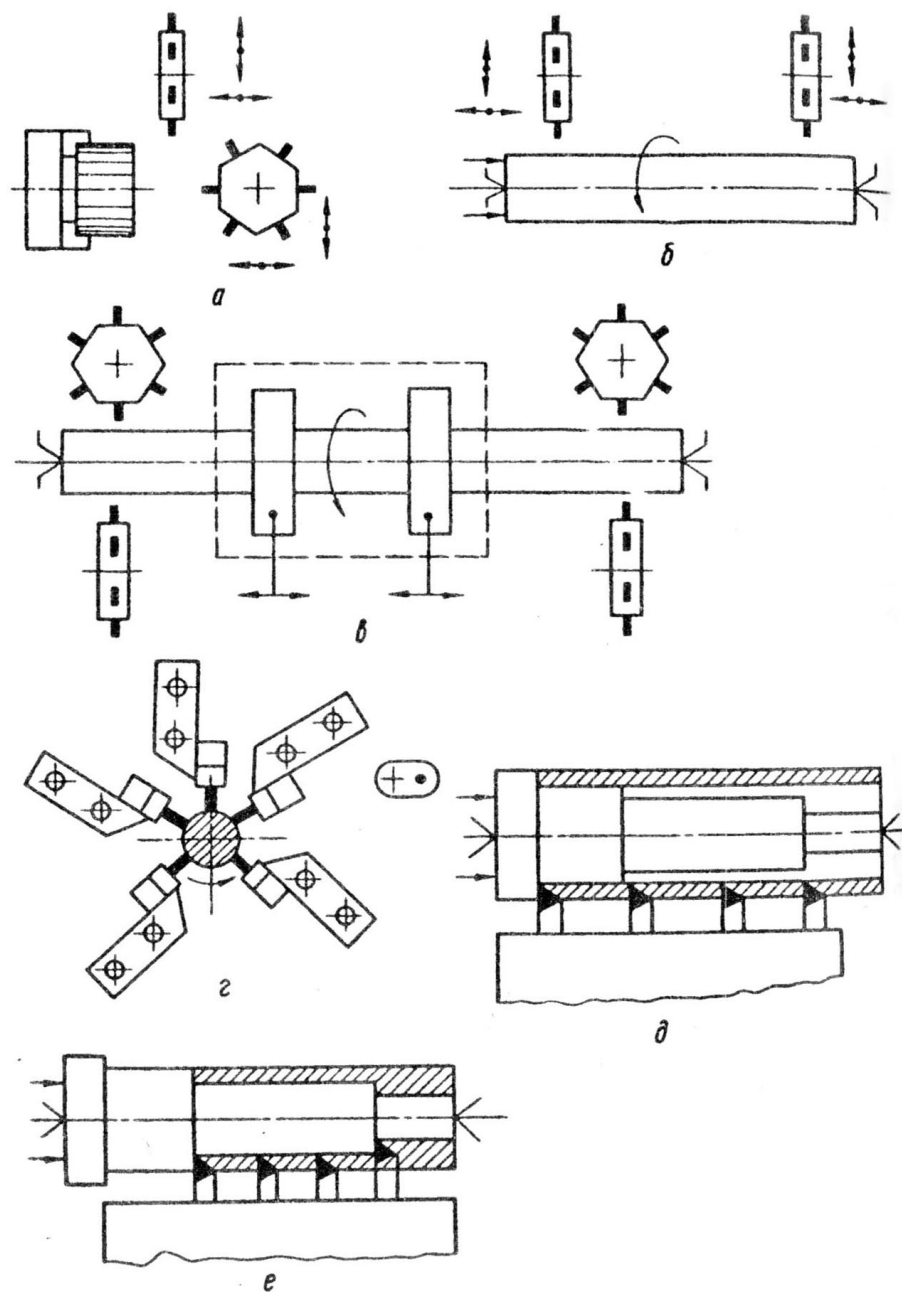


Рисунок 1.3 – Схема концентрації операцій на токарних верстатах з ЧПК

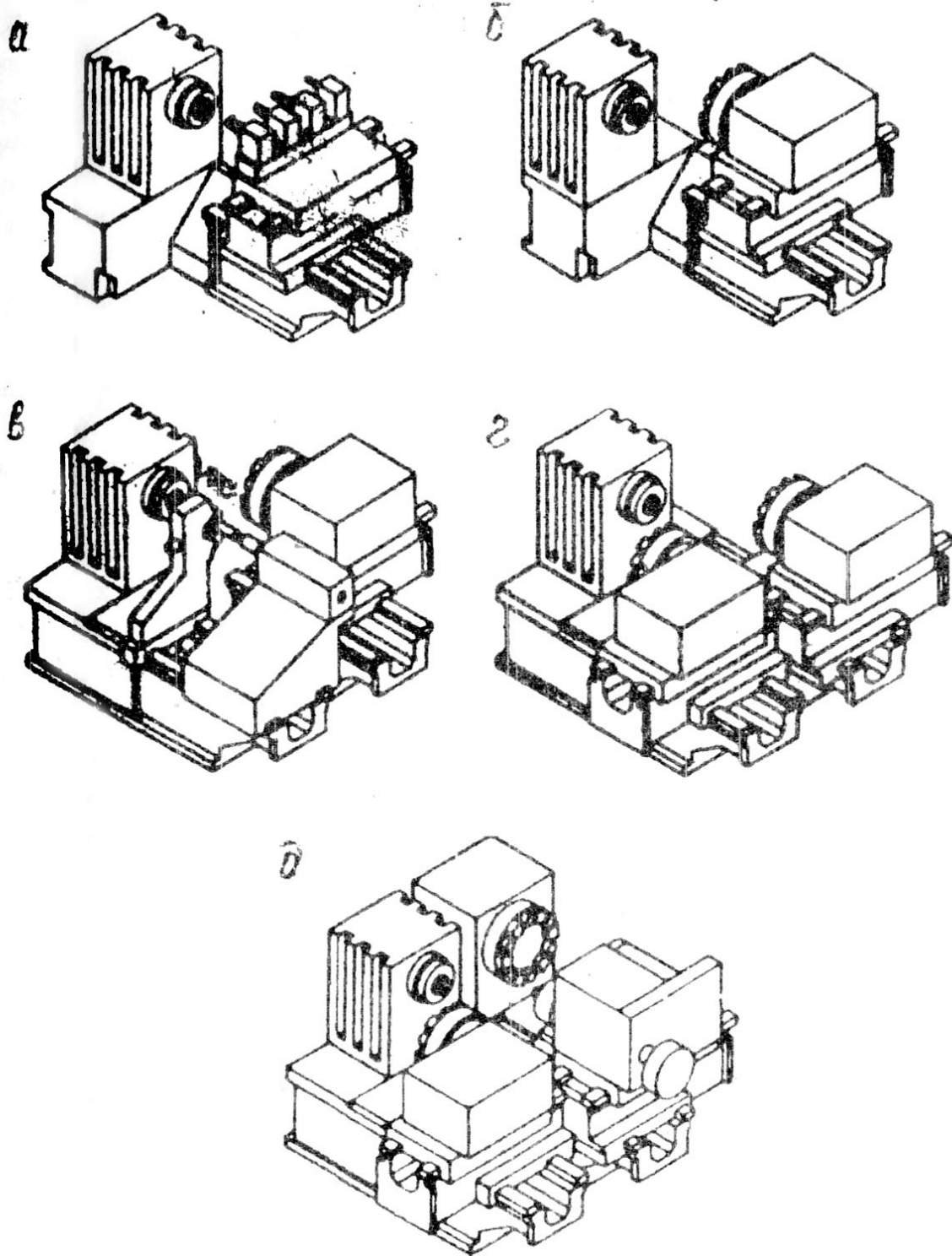


Рисунок 1.4 - Варіанти виконання токарних верстатів фірми «Boley»

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

10

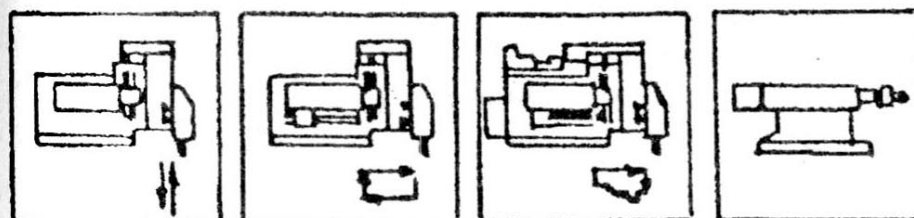
a)



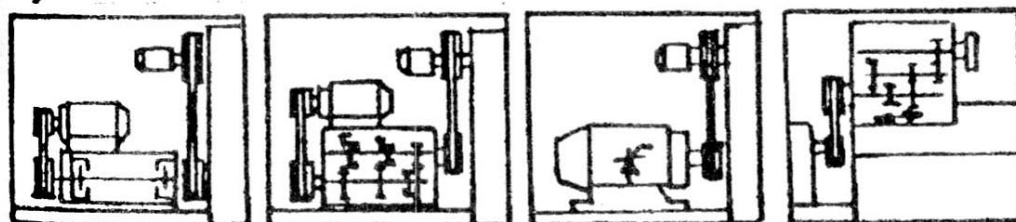
б)



в)



г)



д)

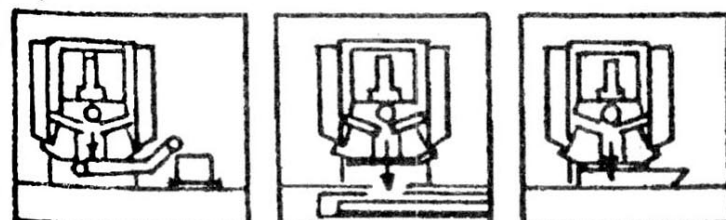


Рисунок 1.5 - Уніфіковані вузли токарних верстатів фірми «Емаг»

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

11

## 1.4 Запропоноване рішення

Проаналізувавши завдання – креслення деталі (рис. 1.1) – робимо висновок, що деталь необхідно обробляти за один установ і з обох боків. Таким умовам задовільняє компоновка, що зображена на рис. 1.3, в.

Приклад виконання верстату з такою компоновкою зображено на рис. 1.6.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

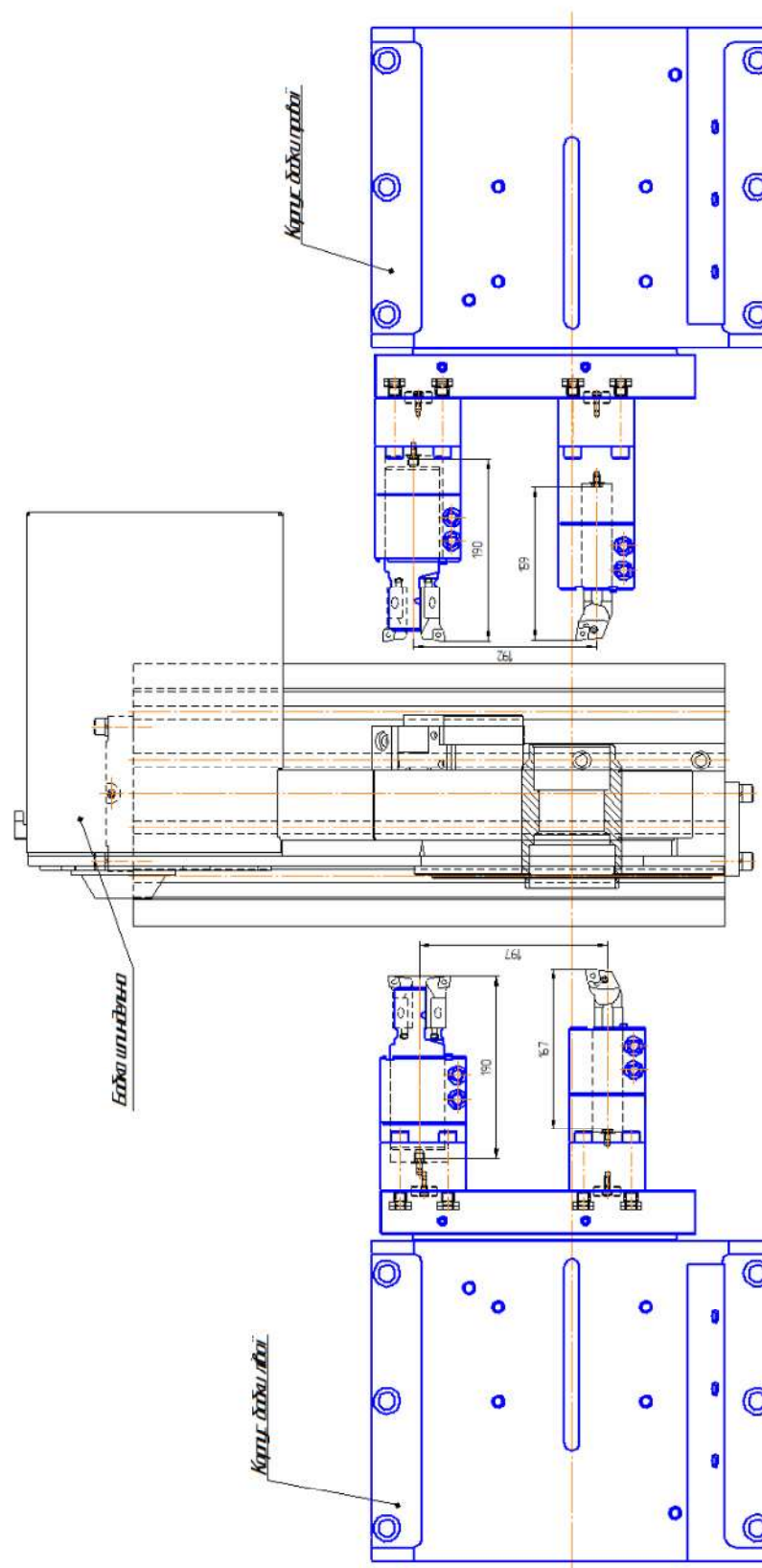


Рисунок 1.6 – Обрана компоновка верстату

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

13



## 2. Загальні розрахунки

### 2.1 Кінематична будова верстату

Виходячи з обраної компоновки, кінематична схема запропонована наступною (рис. 2.1).

Двигун розташовано разом зі шпинделем у шпиндельній бабці. Від двигуна через пасову передачу на шпиндель йде головний рух.

На хрестовому супорті шпиндельна бабка розташована та має приводи в поперечному та повздовжньому напрямі. Через гвинт-гайку кочення від них вона отримує переміщення.

Маніпулятори завантаження заготовок та розвантаження деталей мають пневматичні приводи та слугують для автоматизації безперервної обробки деталей.

Лотки для подачі заготовок та виводу з робочої зони вже оброблених деталей також мають пневматичні приводи та виконують ролі магазинів.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

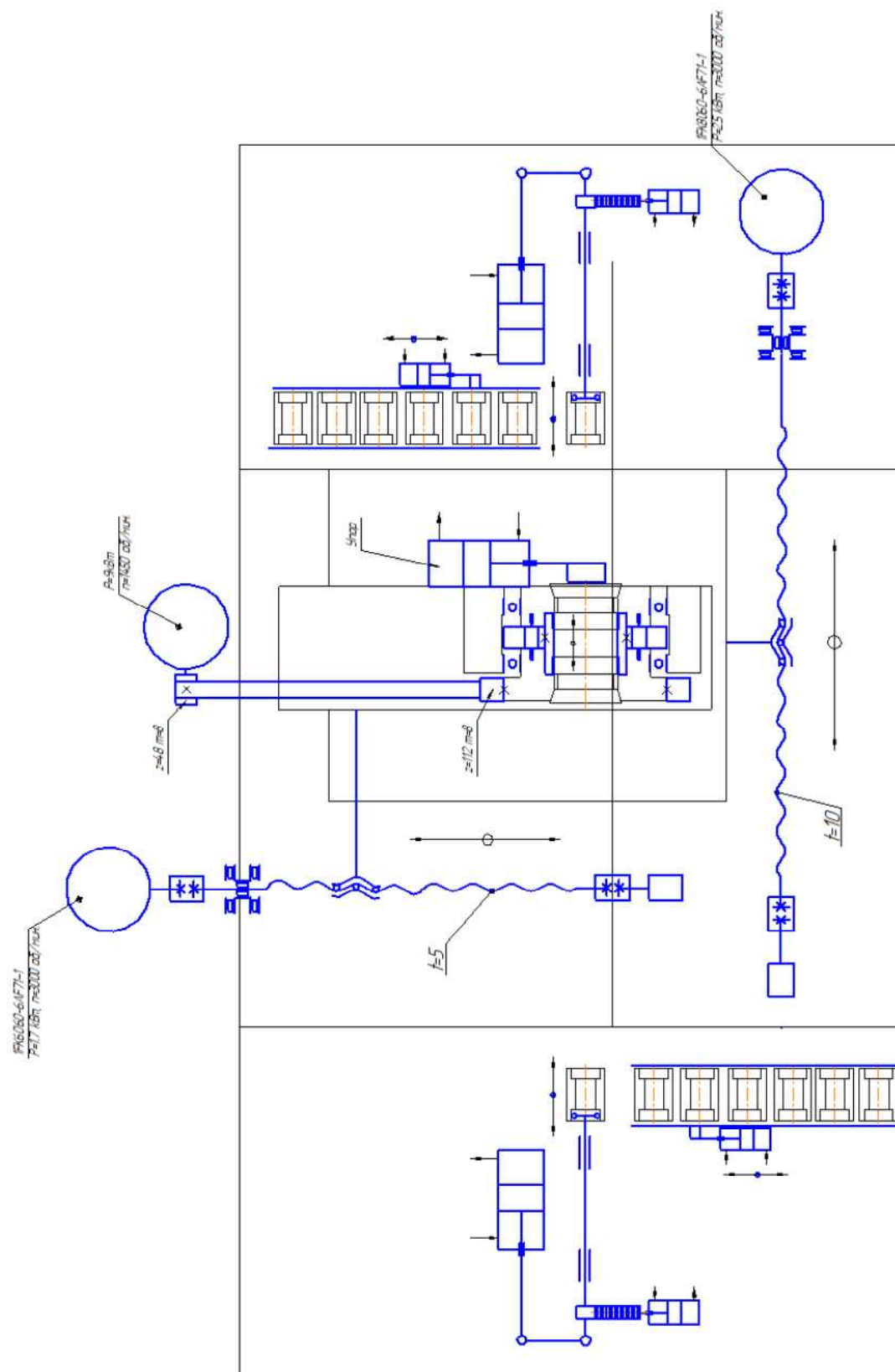


Рисунок 2.1 – Схема кінемаична

## 2.2 Налаштування на обробку заданої деталі

В якості ружучого інструменту на верстаті для основних токарних операцій приймаємо високопродуктивний ріжучий інструмент фірми Sandvik Coromant: прохідні, підрізні, розточні, різьбові.

Різьці квадратного перерізу 20x20 мм безпосередньо встановлюємо у 4-позиційний різцетримач, а круглого перерізу ( $\varnothing 32$ ) - спочатку у перехідну державку, а потім - в 4-позиційний різцетримач.

### 2.1 Ліва сторона

#### 2.1.1 Перехід 1

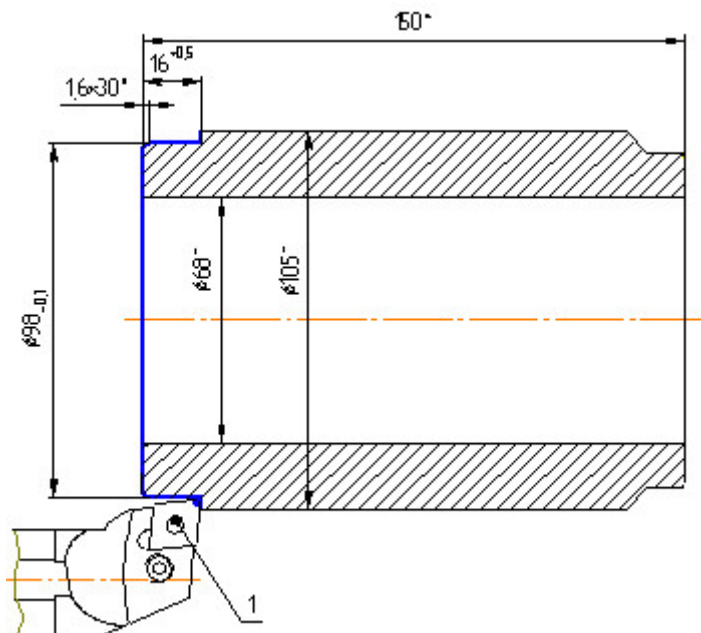


Рисунок 2.2 – Перехід 1

**Інструмент:** резец S32U-PCLNR 12, пластина CNMG 12 04 08-PM  
сплав GC 4225

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

16

### Програма

N90 T1 D1; PODREZKA I OBTOCHKA

N100 G90 G95 G500

N110 ATRANS X0

N120 ATRANS Z0

N130 M3 M41 S1000

N140 G4 F1.0

N150 G1 G94 F20000 X106.0 Z2.0

N160 G95 F0.4 Z0.0

N170 X67.0

N180 G94 F8000 Z0.5

N190 X100.0

N200 G95 F0253 Z-15.0

N210 X106.0

N220 G94 F10000 Z1.5

N230 G41 X93.75

N240 G95 F0.25 ANG=150 X98.0

N250 Z-16.0

N260 X104.6

N261 ANG=135 X106.5

N270 G1 G94 G40 F20000 Z10.0

N280 TRANS X0 Z0

### 2.1.2 Перехід 2

					<i>MB-8119</i> мл.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

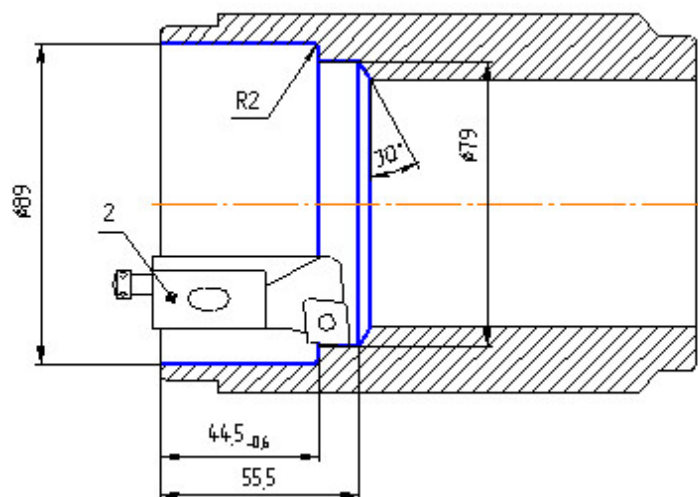


Рисунок 2.3 – Перехід 2

**Інструмент :** резец PCLNL 16CA-12    пластина CNMG 12 04 08-PM  
сплав GC 4225

### Програма

N320 T2 D1; RASTOCHKA

N330 ATRANS X0

N340 ATRANS Z0

N350 M3 M41 S1300

N360 G1 G94 F10000 X73.6

N370 F8000 Z0.5

N380 G95 F0.3 Z-55.9

N390 ANG=240 X66.0

N400 G94 F10000 Z0.5

N410 F8000 X79.0

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

18

N420 G95 F0.25 Z-54.0  
 N430 ANG=240 X66.0  
 N440 G94 F10000 Z0.5  
 N460 F8000 X84.0  
 N470 G95 F0.25 Z-44.0  
 N480 X77.0  
 N490 G94 F10000 Z0.5  
 N500 F8000 G42 X89.0  
 N510 G95 F0.25 X89.0 Z-44.5 RND=2.0  
 N520 X77.0 Z-44.5  
 N530 G94 F10000 Z0.5  
 N540 G1 G40 F20000 Z10.0  
 N550 TRANS X0 Z0

### 2.1.3 Перехід 3

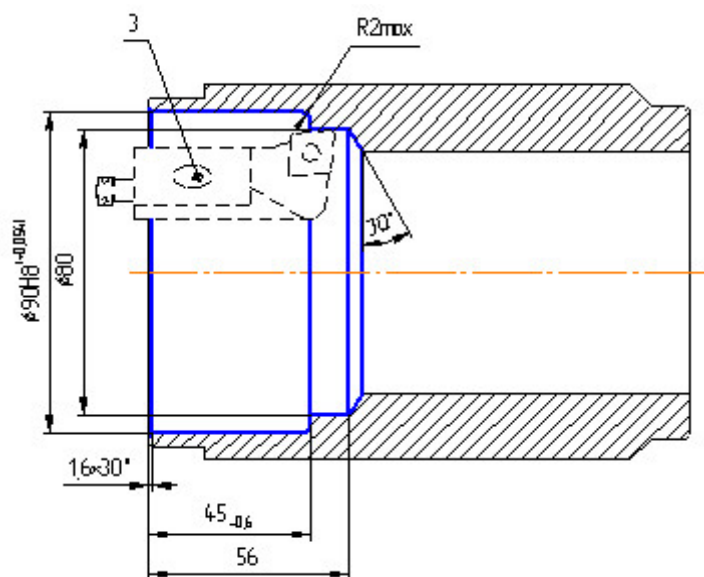


Рисунок 2.3 – Перехід 3

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

19

**Інструмент:** резец PCLNL 16CA-12 пластина CNMG 12 04 08-PM  
сплав GC 4225.

### Програма

N600 T3 D1; RASTOCHKA CHISTOVAYA

N610 ATRANS X0

N620 ATRANS Z0

N630 M3 M41 S1200

N640 G1 G94 F20000 X-93.1

N650 F8000 G41 Z0.5

N660 G95 F0.25 ANG=150 X-90.0

N670 X-90.0 Z-45.0 RND=2.0

N680 X-80.0 Z-45.0

N690 Z-56.3387

N700 ANG=120 X-66.0

N710 G94 F10000 Z1.0

N720 G1 G40 F20000 Z20.0

N730 TRANS X0 Z0

### 2.2 Права сторона

#### 2.2.1 Перехід 4

**Інструмент:** S32U-PCLNL 12 пластина CNMG 12 04 08-PM

Сплав GC 4225

					<i>МВ-8119мл.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

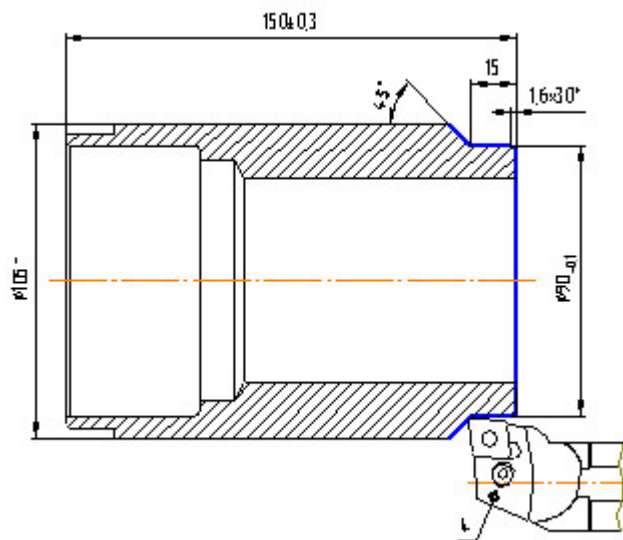


Рисунок 2.4 – Перехід 4

### Програма

N100 T4 D1; OBTOCHKA I PODREZKA

N110 G90 G95 G500

N120 ATRANS X0

N130 ATRANS Z0

N140 M4 M42 S1000

N150 G4 F1.0

N160 G1 G94 F20000 X95.0 Z-10.0

N170 F8000 Z-2.0

N180 G95 F0.4 Z0.0

N190 X71.0

N200 G94 F10000 Z-0.5

N210 G42 X86.57

N220 G95 F0.25 ANG=30 X90.0

N230 Z15.0

N240 ANG=45 X107.0

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

21



N250 G1 G94 G40 F20000 Z-10.0

N260 TRANS X0 Z0

### 2.2.2 Перехід 5

**Інструмент:** резець S32U-PCLNL 12 пластина CNMG 12 04 08-PM

Сплав GC 4225

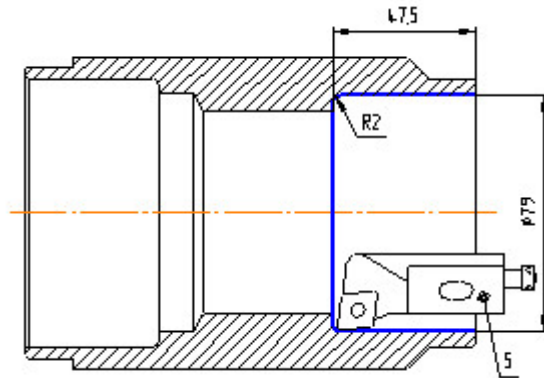


Рисунок 2.5 – Перехід 5

### Програма

N300 T5 D1; RASTOCHKA

N310 ATRANS X0

N320 ATRANS Z0

N330 M4 M42 S1300

N340 G1 G94 F20000 X74.0

N350 F5000 Z-0.5

N360 G95 F0.25 Z47.35

N361 G94 F8000 Z-0.5

N362 X77.0

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

22

N363 G95 F0.25 Z47.2

N364 X65.0 Z47.2

N365 G94 F10000 Z-0.5

N367 X79.0

N368 G95 F0.25 X79.0 Z47.5 RND=2.0

N370 X65.0 Z47.5

N380 G1 G94 F20000 Z-5.0

N390 TRANS X0 Z0

### 2.2.3 Перехід 6

**Інструмент:** резец PCLNR 16CA-12 пластина CNMG 12 04 08-PM

Сплав GC 4225

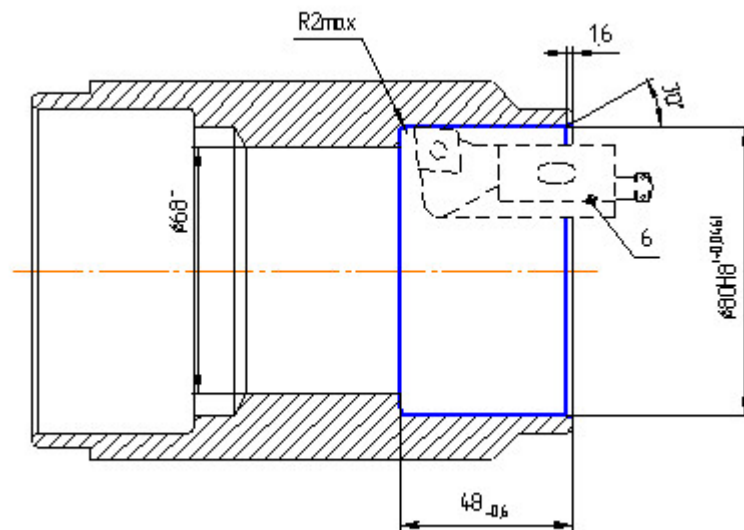


Рисунок 2.6 – Перехід 6

### Програма

N450 T6 D1; RASTOCHKA CHISTOVAYA

N460 ATRANS X0

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

23

N470 ATRANS Z0  
 N480 M4 M42 S1300  
 N490 G1 G94 F20000 X-83.1  
 N500 F8000 G42 Z-0.5  
 N510 G95 F0.25 ANG=30 X-80.0  
 N520 X-80.0 Z48.0 RND=2.0  
 N530 X-65.0 Z48.0  
 N540 G1 G94 G40 F20000 Z-20.0  
 N541 M4 S150  
 N542 G4 F8.0  
 N550 TRANS X0 Z0

### 2.3 Призначення режимів різання

На даному верстаті ведеться чорнова обробка заданої деталі з двох сторін за один установ.

					<i>MB-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

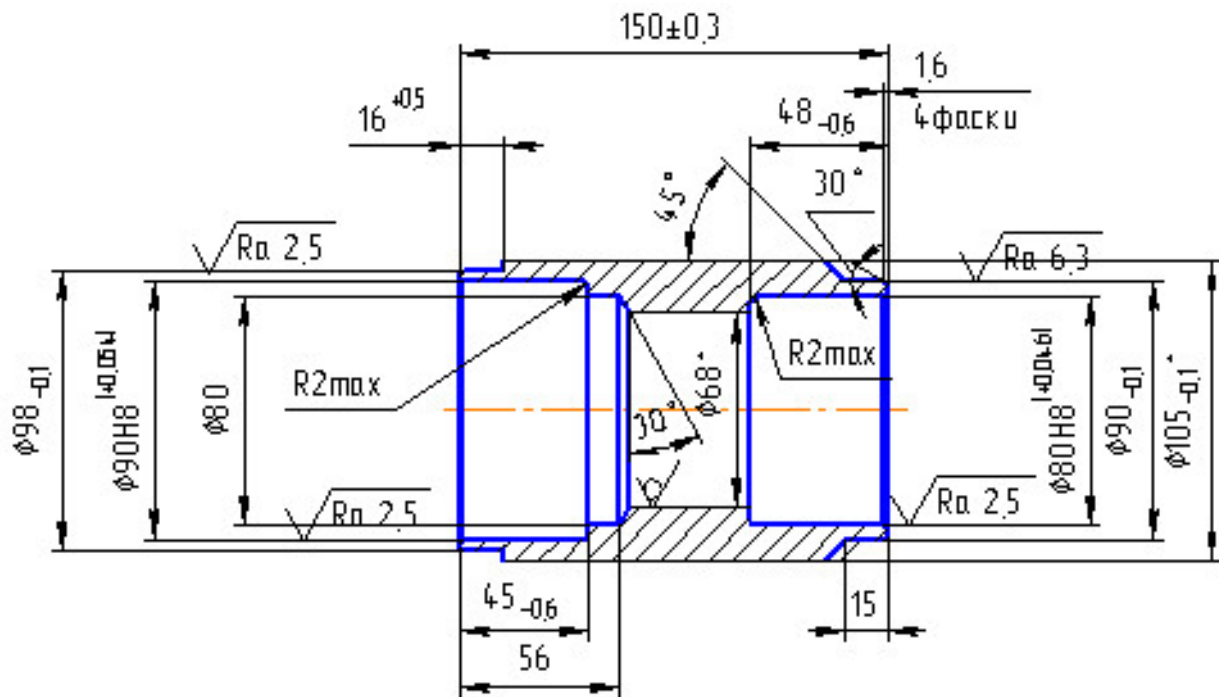


Рисунок 2.7 – Робоче креслення заданої деталі

### Чорнове точіння

Визначення глибини різання.

Для чорнової обробки контуру заготовки згідно технологічного процесу приймаємо припуск  $t=2.5$  мм.

Призначення найбільшої подачі, що допускається.

Згідно [2, тім 2, табл. 11] приймаємо подачу, що допустима приводом подач  $s=2.5$  мм/об.

Швидкість різання для розточування:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v i$$

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

25

де  $T$  – стійкість різця,  $T=45$ хв, [2, том 2, табл.17];

Значення коефіцієнтів  $C_v, x, y, m$  - відповідно до [2, том 2, табл.17]

рівні  $C_v = 420$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,2$ ;  $m = 0,2$ ;

$K_v$  - коефіцієнт, що дорівнює добуткові коефіцієнтів, що враховують матеріал заготовки, геометричні параметри інструменту, умови обробки і т.і.:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Pv} \cdot K_{Iv}.$$

де,  $K_{Mv}$  – враховує вплив матеріалу заготівлі, [2, том 2, табл.1-4];

для сталі 45 -  $K_{Mv} = 1$ ,

$K_{Pv}$  – враховує вплив стану поверхні заготовки, [2, том 2, табл.5];

для заготовки з круглого прокату:  $K_{Pv} = 1$ ,

$K_{Iv}$  – враховує вплив матеріалу інструменту, [2, том 2, табл.6];

Для різальної пластини зі сплаву GC 4025 -  $K_{Iv} = 1$ .

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$V = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 2,5^{0,2}} 1 = 145 \text{ м / хв};$$

Отримане значення збігається з рекомендаціями фірми Sandvik Coromant.

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Частота обертання шпинделю:

$$n = \frac{1000V}{\pi D}; \quad n = \frac{1000 \cdot 145}{\pi \cdot 100} = 453 \text{ об/хв.},$$

$$n = 430 \text{ об / хв}, \quad V = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 430}{1000} = 135 \text{ м/хв.}.$$

Хвилинна подача

$$S_M = S \cdot n;$$

$$S_M = 2.5 \cdot 430 = 1075 \text{ мм/хв.}$$

Сила різання сила  $P_{XYZ}$  розраховується за формою:

$$P_{XYZ} = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p;$$

Коефіцієнти  $C_v, x, y, m$  - відповідно до [2, том 2, табл.19] дорівнюють:

тангенційна -  $C_p=300; x=1,0; y=0,75; n=-0.15;$

радіальна -  $C_p=243; x=0,9; y=0,6; n=-0.3;$

осьова -  $C_p=339; x=1,0; y=0,5; n=-0.4.$

$K_p$  - коефіцієнт, що дорівнює добуткові коефіцієнтів, що враховують умови обробки:

					МВ-8119мл.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$K_P = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}.$$

$$\text{де, } K_{MP} = \left( \frac{\sigma_6}{750} \right)^{\frac{0.75}{0.35}}$$

– враховує вплив матеріала заготівлі, [2, том 2, табл.9];

$$\text{для сталі 45 - } K_{MP} = \left( \frac{600}{750} \right)^{\frac{0.75}{0.35}} = 0.62,$$

– враховує вплив геометричних параметрів ріжучого інструменту [2, том 2, табл.23];

$$K_{\phi P} = 0.89 - \text{ для } P_z, \quad K_{\phi P} = 0.5 - \text{ для } P_y, \quad K_{\phi P} = 1.17 - \text{ для } P_x,$$

$$K_{\gamma P} = 1.0 - \text{ для } P_z, \quad K_{\gamma P} = 1.0 - \text{ для } P_y, \quad K_{\gamma P} = 1.0 - \text{ для } P_x,$$

$$K_{\lambda P} = 1.0 - \text{ для } P_z, \quad K_{\lambda P} = 0.75 - \text{ для } P_y, \quad K_{\lambda P} = 1.07 - \text{ для } P_x,$$

$$K_{rP} = 1.0 - \text{ для } P_z, \quad K_{rP} = 1.0 - \text{ для } P_y, \quad K_{rP} = 1.0 - \text{ для } P_x,$$

Отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^1 \cdot 2,5^{0,75} \cdot 135^{-0,15} \cdot 0.62 \cdot 0.89 = 3942 \text{ Н};$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 2,5^{0,6} \cdot 135^{-0,3} \cdot 0.62 \cdot 0.5 \cdot 0.75 = 512 \text{ Н};$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 2,5^1 \cdot 2,5^{0,5} \cdot 135^{-0,4} \cdot 0.62 \cdot 1.17 \cdot 1.07 = 1462 \text{ Н}.$$

Визначаємо потужність за формулою:

$$P_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60};$$

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$N_{рез} = \frac{3942 \cdot 135}{1000 \cdot 60} = 8.86 \text{ кВт};$$

## 2.4 Потужність двигуна

Визначаємо необхідну потужність двигуна головного руху:

$$N_{дв} = \frac{N_{рез}}{\eta_1},$$

$$\eta_1 = \eta_{пн} \cdot \eta_{нн} = 0.96 \cdot 0.99 = 0.95,$$

$$N_{дв} = \frac{8.86}{0.95} = 9.32 \text{ кВт}.$$

## 2.5 Шпиндель

### 2.5.1 Дані для розрахунків шпинделя

Виліт консолі:  $a = 26 \text{ мм}$ ,

Діаметр консолі:  $d_2 = 150 \text{ мм}$ ,

Діаметр шпинделя між опорами:  $d_1 = 150 \text{ мм}$ ,

Діаметр отвору шпинделя:  $d' = 116 \text{ мм}$ ,

Швидкісний параметр:  $(dn) = 150 \cdot 1000 = 1.5 \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$ ,

Очікуване навантаження консолі:  $P_z = 5000 \text{ Н}$ .

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



### 2.5.2 Схема шпиндельного вузла

Відповідно заданим геометричним параметрам ухвалюємо схему ШВ

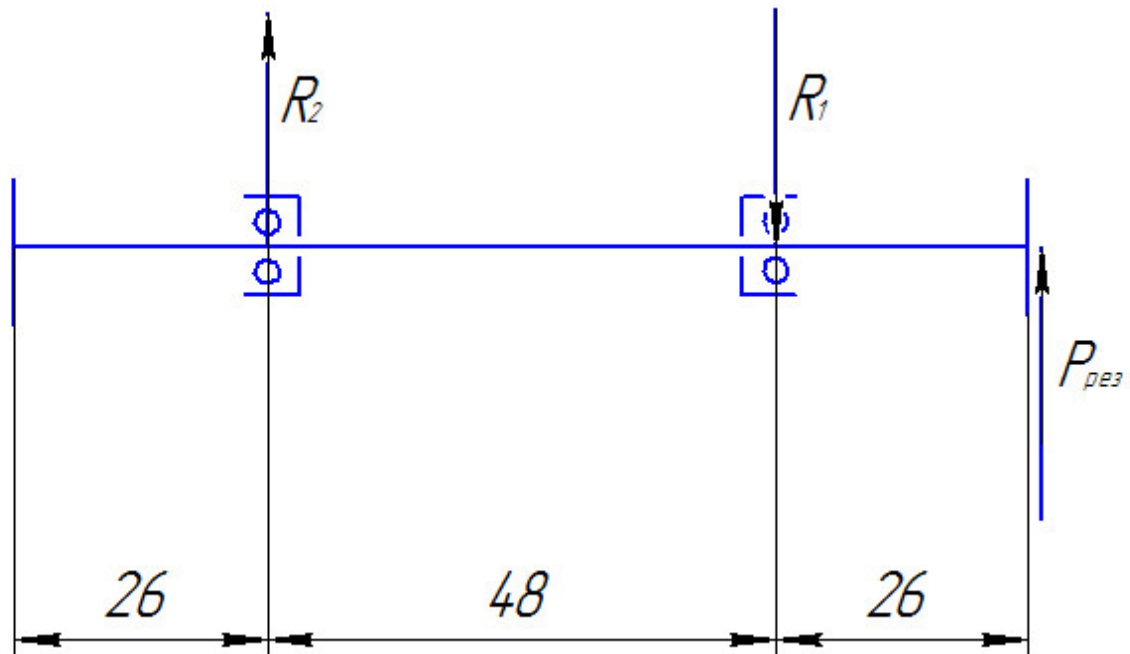


Рис. 2.8 – Схема ШВ

### 2.5.3 Підшипники

Тип опор шпинделя, які обумовлюють форму посадочних місць, обираємо відповідно до вимог точності й швидкохідності, що визначається швидкісним параметром

$$k = dn, \text{ хв}^{-1}$$

де,  $d$  – діаметр отвору під підшипником,

$n$  – частота обертання шпинделя.

Для схеми ШВ:  $(dn)_{max} = 1.5 \cdot 10^5$ ,

У якості передньої та задньої опори приймаємо однорядний кульковий радіально-упорний підшипник 104693 ГОСТ 831-75 класу точності 2 із максимальним числом обертів шпинделя  $[n_{\max}] = 4000 \text{ хв}^{-1}$ .

Змащення для опор вибираємо— для  $(dn)_{\max} = 1.5 \cdot 10^5$  – циркуляційну.

Допустима температура нагріву  $t = 50 \dots 55^\circ \text{C}$  для класу точності П.

#### 2.5.4 Визначення реакцій в опорах та їх радіальної твердості (піддатливість)

Приймаємо попередньо відстань між опорами  $l = 48 \text{ мм}$ .

$$R_1 = \frac{P_{\text{рез}}(a + l)}{l}, \quad R_1 = \frac{4(26 + 48)}{48} = 6.1 \text{ кН.}$$

$$R_2 = \frac{P_{\text{рез}}a}{l}, \quad R_2 = \frac{4 \cdot 26}{48} = 2.1 \text{ кН,}$$

Твердість лівої опори:

$$C_r = \frac{R_1}{\delta'_1 + \delta''_2},$$

правої опори :

$$C_{r2} = \frac{R_2}{\delta'_2 + \delta''_2}.$$

де,  $\delta'_r$  – пружне зближення тіл кочення і кілець підшипника,

$\delta''_r$  – контактне зближення на посадкових поверхнях підшипника шпинделя й корпуса.

$$\delta'_1 = K_{ш1} \cdot R_1,$$

де,  $K_{ш1}$  – коефіцієнт податливості для однорядного кулькового

підшипника:

$$K_{u1} = 0.333 \cdot 10^{-4} (0.7 - 0.02d), \text{см} \cdot \text{кгс}^{-2/3},$$

$$K_{u1} = 10^{-4} (0.7 - 0.02 \cdot 15) = 0.4 \cdot 10^{-4},$$

$$\delta r'_1 = 6.1 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 0.00024 \text{ мм.}$$

Для податливості правої опори з  $d=150$  мм.

$$\delta r'_2 = K_{u2} \cdot R_2$$

де,  $K_{u2}$  - коефіцієнт піддатливості для задньої опори:

$$K_{u2} = 10^{-4} (0.7 - 0.02d) = 10^{-4} (0.7 - 0.02 \cdot 15) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ см} \cdot \text{кгс}^{-2/3}.$$

$$\delta r'_2 = 2.1 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 0.000084 \text{ мм.}$$

При нормальних навантаженнях контактні деформації на поверхнях посадок кілець підшипників:

$$\delta r = \frac{4K R}{\pi \cdot d \cdot b} \left(1 + \frac{d}{D}\right),$$

де,  $K=0.015 \dots 0.025 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3 / \text{кгс}$ ,

$$\delta r_1 = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 6.1}{\pi \cdot 15 \cdot 2.8} \left(1 + \frac{116}{150}\right) = 0.32 \text{ мкм},$$

$$\delta r_2 = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2.1}{\pi \cdot 15 \cdot 2.8} \left(1 + \frac{116}{150}\right) = 0.11 \text{ мкм.}$$

Твердість передньої опори:

$$Cr1 = \frac{610}{0.024 + 0.00032} = 25082 \text{ кг} / \text{мм}.$$

$$Cr2 = \frac{210}{0.000084 + 0.00011} = 177365 \text{ кГ / мм} .$$

### 2.5.5 Оптимальна відстань юпт між опорами

Радіальне переміщення правого кінця шпинделя:

$$Y = \frac{P \cdot a^2}{3 \cdot E} \left[ \frac{a}{J_2} + \frac{l(1 - \varepsilon_3)}{J_1} \right] + P \left\{ e_1 \left[ \frac{a(1 - \varepsilon_3) + l}{l} \right]^2 + e_2 (1 - \varepsilon_3) \left( \frac{a}{l} \right)^2 \right\}$$

де,  $P=4000\text{Н}$ ,

$a=26 \text{ мм}$ ,

$E= 2.1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$ ,

$$J_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{d_1} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 150^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{116}{150} \right)^4 \right] = 15.96 \cdot 10^6 \text{ мм}^4 ,$$

$$J_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{d_2} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 150^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{116}{150} \right)^4 \right] = 15.96 \cdot 10^6 \text{ мм}^4 .$$

$\varepsilon_3=0.4$  ( табл. 3.4),

$$e_1 = \frac{1}{Cr_1} = \frac{1}{25082} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ мм / Н} ,$$

$$e_2 = \frac{1}{Cr2} = \frac{1}{177365} = 5.6 \cdot 10^{-6} \text{ мм / Н} ,$$

$$Y = \frac{4000 \cdot 26^2}{3 \cdot 2.1 \cdot 10^5} \left[ \frac{26}{15.96 \cdot 10^6} + \frac{l(1-0.4)}{15.96 \cdot 10^6} \right] +$$

$$+ 4000 \left\{ 4.86 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{26(1-0.4) + l}{l} \right]^2 + 2.37 \cdot 10^{-7} (1-0.4) \left( \frac{26}{l} \right)^2 \right\} =$$

$$= \frac{10.138}{l^2} + \frac{0.211}{l} + 1.18 \cdot 10^{-5} \cdot l + 0.0058$$

Для визначення оптимальної відстані  $l$  визначаємо  $\frac{dy}{dl}$ , дорівнюємо 0 і

визначаємо кубічний корінь рівняння:

$$\frac{dy}{dl} = -\frac{20.2}{l^3} - \frac{0.211}{l^2} + 1.18 \cdot 10^{-5} = 0, \text{ при } l \neq 0 \text{ маємо:}$$

$$1.18 \cdot 10^{-5} l^3 - 0.211l - 20.2 = 0$$

Розрахунки показують, що  $y_{min}$  при  $l=39$  мм,

Приймаємо  $l_{opt}=48$  мм.

### 2.5.6 Радіальна твердість шпиндельного вузла

Підставляємо  $a, l, E, J_1, J_2, P$  у формулу для визначення радіального віджиму правого кінця шпинделя:

$$y = \frac{10.138}{300^2} + \frac{0.211}{300} + 1.18 \cdot 10^{-5} \cdot 300 + 0.0058 = 0.01 \text{ мм}$$

Твердість:

$$j = \frac{P}{y} = \frac{4000}{0.01} = 400000 \text{ Н / мм} = 400 \text{ кН / мм},$$

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Податливість:  $e = \frac{1}{j} = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ мм/кН}$

Значення порівнюємо із припустимим

$$y = [y] = 0.0001 \cdot l = 0.026 \text{ мм},$$

що припустиме.

### 2.5.7 Радіальне биття опор

$$\delta_1 = \frac{\Delta}{6(1 + \frac{a}{l})} = \frac{0.1}{6 \cdot (1 + \frac{26}{48})} = 0.0108 \text{ мм} - \text{правої опори},$$

де,  $\Delta$  - 0.1 – допуск на готовий виріб,

$$\delta_2 = \frac{0.1}{6 \cdot \frac{26}{48}} = 0.031 \text{ мм} - \text{лівої опори}.$$

### 2.5.8 Властивості, що демпфірують, ШВ

Властивості ШВ, що демпфірують, можна кількісно визначити за допомогою логарифмічного декременту коливань:

$$\lambda_{ш} = l_n \frac{A_i}{A_{i+1}} \geq [\lambda].$$

$$\lambda_{ш} = 0.5 \frac{\varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot l^2}{a\varphi_1 + \varphi_2(a+l)^2} = 0.14 \leq [0.27],$$

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де,  $\varphi_1 = 0.35$  відносне розсіювання енергії в одному роликотідшипнику.

### 2.5.9 Власна частота обертання

Власна частота шпинделя розраховується по формулі:

$$\omega_c = \gamma \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_1}{m(1 + \lambda)^3 a^2}},$$

$$\text{де, } \gamma = 2.4, \lambda = \frac{l}{a} = \frac{26}{48} = 0.74,$$

$$m - \text{маса шпинделя, } m = \rho \cdot V = \frac{\pi(d^2 - d^{21})}{4} \cdot l \cdot \rho,$$

$$d = 90 \text{ мм}, \quad d^1 = 53 \text{ мм}.$$

$$l_1 = l + a + a_2 = 26 + 48 + 26 = 100 \text{ мм},$$

$$\rho = 7.85 \text{ г/см}^3,$$

$$J_1 = 4.78 \cdot 10^6 \text{ мм}^4, m = \rho \cdot V = \frac{\pi(150^2 - 116^2)}{4} \cdot 81 \cdot 7.85 = 26.4 \text{ кг},$$

$$\omega_c = 2.4 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^{11} \cdot 4.78 \cdot 10^6}{26.4(1 + 0.74)^3 0.026^2}} = 530093 \text{ с}^{-1}.$$

### 2.6 Приводи подач верстату

Маси складових ланок:

- Каретка поперечна  $m = 79 \text{ кг}$ ,

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- Шпindelний вузол  $m = 181 \text{ кг}$ ,
- Кульково-гвинтові пари  $32 \times 5 \text{ м} = 6 \text{ кг}$ ,
- Кульково-гвинтові пари  $40 \times 10 \text{ м} = 10 \text{ кг}$ ,
- Електродвигун  $= 11 \text{ кг}$ ,
- Маси кронштейна, плити, підкладок, зубчастої передачі  $= 25 \text{ кг}$ .

#### Моменти інерції ланок

Моменти інерції складових ланок визначаються за формулою:

$$J = \pi \cdot r^2 \cdot L \gamma / 1000$$

- Маси гвинта поперечних салазок  $J_1 = 0.00035 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $D = 32 \text{ мм}$ ,
- Маси гвинта поздовжніх салазок  $J_2 = 0.00048 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $D = 40 \text{ мм}$ ,

#### Моменти інерції мас приводу, наведених до гвинтів:

- Приводу поперечних салазок:

$$J_{1в} = J_1 + m (2345) \cdot (P_1 / 2\pi)^2,$$

$$m (12345) = 28 + 41 + 92 + 5 = 166 \text{ кг},$$

$$J_{1в} = 0.00035 + 166 \cdot (0.005 / 2\pi)^2 = 0.000455 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

- Приводу поздовжніх салазок:

$$J_{1в} = J_2 + m (1234567) \cdot (P_2 / 2\pi)^2 = 0.00048 + 280 \cdot (0.005 / 2\pi)^2 = 0.00067 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$m_1 = 78 + 180 + 5 + 11 + 25 = 299 \text{ кг}.$$

#### Моменти інерції приводу, наведених до валів двигунів:

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



- Приводу поперечних салазок

$$J_1 = J_3 + (J_{1B} + J_3) / i_1^2 + J_{дв1} = 0.00023 + (0.000421 + 0.000116) / 1^2 + 0.000347 = 0.00128 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

- Приводу поздовжніх салазок

$$J_2 = J_3 + (J_{2B} + J_3) / i_1^2 + J_{дв2} = 0.00023 + (0.000421 + 0.00023) / 1 + 0.00086 = 0.00138 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сили тертя на напрямних салазках:

- Поперечних  $F_{t1} = (m_{12} \cdot g + F_{H1}) \cdot f$ ,

де,  $f = 0.062$  - для полімерних накладок,

$F_{H1} = 200 \text{ Н}$  - сила попереднього натягу в напрямних поперечних салазках,

$$F_{t1} = (113 \cdot 9.81 + 200) \cdot 0.062 = 81 \text{ Н}.$$

- Поздовжніх

$$F_{t1} = (m_1 \cdot g + F_{H2}) \cdot f = (299 \cdot 9.81 + 200) \cdot 0.062 = 150 \text{ Н}.$$

Моменти тертя, наведені до валу двигуна:

- Поперечного

$$M_{T1} = (F_{t1} \cdot p) / (2\pi \cdot \eta \cdot i_1) = (81 \cdot 0.005) / (2\pi \cdot 0.9 \cdot 1.5) = 0.0477 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

- Поздовжнього

$$M_{T2} = (F_{t2} \cdot p) / (2\pi \cdot \eta \cdot i_2) = (150 \cdot 0.005) / (2\pi \cdot 0.9 \cdot 1) = 0.0884 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Моменти тертя в ущільненнях:

$$M_{Ty1} = M_{Ty2} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарні моменти тертя:

$$MT_1 = MT_1 + M_{ту1} = 1.0477 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$MT_2 = MT_2 + M_{ту2} = 1.0884 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Середньодинамічні моменти двигунів:

$$M_{срд1} = 2M_1 = 2 \cdot 2.39 = 4.78 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{срд2} = 2M_2 = 2 \cdot 4.78 = 9.56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Час розгону та гальмування:

- Поперечної подачі:

$$t_{p1} = (\pi \cdot J_1 \cdot n_{д1}) / (30 (M_{ср\cdot д1} \pm MT_1)) = (\pi \cdot 0.00128 \cdot 3000) / (30(6.4 + 1.0477)) = 0.075 \text{ с}.$$

$$t_{r1} = (\pi \cdot J_1 \cdot n_{д1}) / (30 (M_{ср\cdot д1} \pm MT_1)) = (\pi \cdot 0.00128 \cdot 3000) / (30(6.4 + 1.0477)) = 0.054 \text{ с}.$$

- Повздовжньої подачі:

$$t_{p2} = (\pi \cdot J_2 \cdot n_{д2}) / (30 (M_{ср\cdot д2} \pm MT_2)) = (\pi \cdot 0.00138 \cdot 3000) / (30(12 + 1.0884)) = 0.04 \text{ с}.$$

$$t_{r2} = (\pi \cdot J_2 \cdot n_{д2}) / (30 (M_{ср\cdot д2} \pm MT_2)) = (\pi \cdot 0.00138 \cdot 3000) / (30(12 + 1.0884)) = 0.033 \text{ с}.$$

Розрахунок діаметрів гвинтів.

Розрахункове осьове навантаження:

$$P_1 = 3500 \text{ Н} = P_x,$$

$$P_2 = 3500 \text{ Н} = P_z.$$

Розрахунок на стійкість (формула Ейлера):

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$d_o = \sqrt{(64 \cdot P \cdot (\mu \cdot L)^2) / (\pi^3 \cdot E)},$$

де,  $\mu_1 = 0.5$ ,  $\mu_2 = 0.5$ ,  $L = 310$  мм,  $L_2 = 390$  мм.

$$d_{o1} = \sqrt{(64 \cdot 3500 \cdot (0.5 \cdot 500)^2) / (\pi^3 \cdot 20000)} = 10.1 \text{ мм.}$$

$$d_{o2} = \sqrt{(64 \cdot 3500 \cdot (0.5 \cdot 660)^2) / (\pi^3 \cdot 20000)} = 14.68 \text{ мм.}$$

Розрахунок по критичній частоті обертання:

$$d_o \cdot n < 80000$$

$$d_{o1} = d_{o2} < 80000 / n = 80000 / 5000 = 16 \text{ мм.}$$

Критичний діаметр, при котрому настає резонанс:

$$d_o > 2 \cdot 10^{-3} \cdot n_{кр} \cdot L^2 / \gamma \cdot k.$$

-для поперечного гвинта

$$d_{o1} > 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 \cdot 500^2 / 1 \cdot 0.7 = 7.7 \text{ мм,}$$

-для поздовжнього гвинта

$$d_{o2} > 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 \cdot 660^2 / 5.59 \cdot 0.7 = 24.5 \text{ мм.}$$

## 2.7 Зубчасто-пасова передача

Вихідні дані:

- потужність  $P=11$  кВт,
- частота обертання шпинделя:  $n_{шп}=1000$  об/хв,
- частота обертання валу електродвигуна:  $n_{дв}=4000$  об/хв,
- передавальне число передачі:  $u= n_{дв} / n_{шп}=4000/1000=4$

Розрахунок зубчастопасової передачі ведемо за наступною послідовністю.

Визначаємо момент, потужність і частоту обертання на відомому шківі зубчатоременною передачі:

- обертовий момент на ведучем шкиве:

$$T_1 = 9550 \frac{P_{\partial\partial}}{n_1} = 9550 \cdot \frac{0,18}{1980} = 0,868(\text{Нм})$$

- момент  $T_2 = T_1 \cdot u_{12} = 0,868 \cdot 3 = 2,604(\text{Нм})$ ;

- частота обертання  $n_2 = \frac{n_1}{u_{12}} = \frac{1980}{3} = 660(\text{об/мин})$ ;

- потужність  $P_2 = P_{\partial\partial} \cdot \eta_{з.р.н.} = 0,18 \cdot 0,98 = 0,176(\text{кВт})$ .

За величиною крутного моменту на ведучому шківі вибираємо модуль зубчастого ременя :  $m = 1,5\text{мм}$ .

Визначаємо число зубів малого (провідного) шківів. Визначаємо, що мінімальне число зубів малого шківів не повинно бути менше 12, тому в якості розрахункових чисел зубів приймаємо  $z_1 = 30$ .

При обраному передавальному відношенні  $u_{12} = 3$  визначаємо число зубів веденого шківів за формулою:

$$z_2 = z_1 \cdot u_{12} = 30 \cdot 3 = 90$$

Діаметри ділільних кіл шківів розраховуємо за формулами:

$$d_1 = m \cdot z_1 = 1,5 \cdot 30 = 45(\text{мм}),$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 1,5 \cdot 90 = 135(\text{мм}).$$

Визначаємо швидкість пасу  $V_{\text{окр.}}$  :

$$V_{\text{окр.}} = \frac{mz_1}{2} \cdot \omega_3 = \frac{mz_1 \cdot \pi \cdot n_1}{60} = \frac{1,5 \cdot 30 \cdot 3,14 \cdot 1980}{60} = 4663 \left( \frac{\text{мм}}{\text{с}} \right) = 4,663 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Дійсна частота обертання веденого шківів

$$n_2 = (1 - \varepsilon) \cdot n_1 \cdot \frac{d_1}{d_2} = (1 - 0,01) \cdot 1980 \cdot \frac{45}{135} = 653,4 \left( \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right)$$

Уточнене передавальне відношення

$$u_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1980}{653,4} = 3,03$$

Міжосьова відстань, обчислюємо за формулою:

$$a = (1,5 \dots 2) \cdot (d_1 + d_2) = 1,5 \cdot (45 + 135) = 270 (\text{мм})$$

Визначаємо необхідну довжину ремня при заданому міжосьовій відстані

$$L_p \approx 2a + \frac{\pi \cdot (d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} = 2 \cdot 270 + \frac{3,14 \cdot (45 + 135)}{2} + \frac{(135 - 45)^2}{4 \cdot 270} = 822,1 (\text{мм})$$

Визначаємо число зубців пасу  $z_p$  й округлюємо його до стандартного:

$$z_p = \frac{L_p}{\pi \cdot m} = \frac{822,1}{3,14 \cdot 1,5} = 174,5$$

Приймаємо  $z_p = 180$  і уточнюємо довжину ремня:

$$L_p = \pi \cdot m \cdot z_p = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 180 = 447,45 (\text{мм})$$

Силу, передану зубчастим ременем, обчислюємо за формулою:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot k_F \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,868}{45} = 39(H)$$

Коефіцієнт  $k_F$  дорівнює одиниці для спокійної пускового навантаження.

Розрахункову допускаемую питому силу на ремені визначаємо по залежності:

$$F_y = [F]_0 C_u C_z C_p,$$

де  $[F]_0 = 3,5 \text{ Н/мм}$  - питома сила, що допускається,

$C_u = 1$  [3, табл.5.11] - коефіцієнт передавального відношення,

$$C_z = 1,$$

$$C_p = 0,9$$

$$F_y = 3,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 3,15 \left( \frac{\text{Н}}{\text{мм}} \right).$$

Визначаємо числа зубів ременя, що знаходяться в зачепленні з ведучим і веденим шківками:

$$z_{1з} = \frac{z_1 \cdot \alpha_1}{360} ;$$

$$z_{2з} = \frac{z_2 \cdot \alpha_2}{360} ,$$

$$\alpha_1 = 180 - \frac{m \cdot (z_2 - z_1)}{a} \cdot 57,3^\circ = 180 - \frac{1,5 \cdot (90 - 30)}{270} \cdot 57,3^\circ = 166^\circ ;$$

$$\alpha_2 = 180 + \frac{m \cdot (z_2 - z_1)}{a} \cdot 57,3^\circ = 180 + \frac{1,5 \cdot (90 - 30)}{270} \cdot 57,3^\circ = 194,3^\circ$$

Таким чином,

$$z_{1з} = \frac{30 \cdot 166}{360} = 13,8 \quad \text{приймаємо } z_{1з} = 14;$$

$$z_{2з} = \frac{90 \cdot 194,3}{360} = 48,5 \quad \text{приймаємо } z_{2з} = 46.$$

Визначаємо необхідну ширину ремня:

$$B = \frac{F_t}{(F_y - qV_{окр}^2) \cdot C_{ш}},$$

де  $q = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м} \cdot \text{мм}$  - погонна маса,

$C_{ш} = 1,0$  - коефіцієнт, що враховує наявність неповних витків каната у бічних поверхнях ремня.

$$B = \frac{89}{(3,16 - 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 4,663^2) \cdot 1,0} = 28,2(\text{мм})$$

Приймаємо ширину ремня відповідно до стандартного ряду

$$B = 32 \text{ мм}.$$

Розраховуємо питомий тиск на робочих поверхнях зубів ремня і порівнюємо їх з допустимими:

$$P = \frac{F_t \cdot \varphi}{z_{13} B h} = \frac{39 \cdot 1,8}{14 \cdot 32 \cdot 1,2} = 0,695 (\text{МПа})$$

де  $\varphi = 1,8$ ,  $h = 1,2 \text{ мм}$ .

Обираємо  $[P] = 0,75 \text{ МПа}$ , тобто  $0,695 \text{ МПа} < 0,75 \text{ МПа}$ .

Величину початкового натягу ремня  $F_0$  обчислюємо за емпіричною залежністю

$$F_0 = 0,5 \cdot F_t \cdot \left(1 + \frac{1}{z_{23}}\right) = 0,5 \cdot 39 \cdot \left(1 + \frac{1}{46}\right) = 19,9 (\text{Н})$$

Силу, що діє на вал передачі, визначаємо за формулою:

$$F_r = 1,1 \cdot F_t = 1,1 \cdot 39 = 97,9 (\text{Н})$$

Для динамічного аналізу зубчастої пасової передачі розраховуємо критичну лінійну швидкість ремня в такій послідовності:

а) знаходимо власну частоту:

$$P_0 = 3,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1};$$

б) визначаємо натяг ведучої і веденої гілок ремня:

$$F_{\text{вн}} = F_0 + 0,5 F_t = 19,9 + 0,5 \cdot 39 = 39,4 (\text{Н});$$

$$F_{\text{вд}} = F_0 - 0,5 F_t = 19,9 - 0,5 \cdot 39 = 0,4 (\text{Н});$$

в) визначаємо деформацію одного кроку провідною і відомою гілок ремня:



$$\xi_{c1} = \alpha F_{\text{вщ}};$$

$$\xi_{c2} = \alpha F_{\text{сд}},$$

$$\alpha = \frac{\alpha'}{B} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{32} = 2,5 \cdot 10^{-5},$$

Так як.  $\alpha' = 8 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2/\text{Н}$  - податливість каркаса ременів.

Таким чином,

$$\xi_{c1} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 39,4 = 0,00228 \text{ мм};$$

$$\xi_{c2} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,4 = 0,000053 \text{ мм};$$

Знаходимо критичну швидкість зубчастого ременя

$$V_{\text{кр}}^{(1)} = P_0 \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \xi_c} \cdot \left( \sqrt{\frac{K_B^2}{4} + 1} - \frac{K_B}{2} \right)$$

$$K_B = 0,5 \cdot (z_p - z_{1з} - z_{2з}) = 0,5 \cdot (180 - 14 - 46) = 60$$

Отримуємо для ведучої гілки

$$V_{\text{кр}}^{(1)} = 3,6 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0,00228} \cdot \left( \sqrt{\frac{60^2}{4} + 1} - \frac{60}{2} \right) = 39,5 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right);$$

Для ведомої гілки

$$V_{\text{кр}}^{(1)} = 3,6 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0,000053} \cdot \left( \sqrt{\frac{60^2}{4} + 1} - \frac{60}{2} \right) = 6,02 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Швидкість ременю  $V_{\text{окр.}} = 2,021 \text{ м/с}$ .

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

46

Отже, передача працює в дорезонансній зоні ( $V_{окр.} < V_{кр.}$ ) й не потребує коректування параметрів.

### 3. Запропонований верстат

#### 3.1 Базовий опис

Верстат призначений для двосторонньої токарної чорнової та чистової обробки металевих деталей типу муфт з штучної заготовки.

Верстат складається зі:

- станини;
- траверсі;
- хрестового супорта, який розміщено на траверсі, а та в свою чергу на станині;
- шпиндельного вузла;
- вхідного лотка з кантувачем для подачі заготовок;
- маніпулятора для автоматичного завантаження та вивантаження заготовок в патроні;
- шнекового транспортера для стружки;
- електрообладнання та електрошафи, в якому розміщена апаратура керування: електрична частина приводів з частотним регулюванням швидкості, система ЧПК, пуско-регулююча апаратура;
- огорожі зон різання й рухомих частин.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

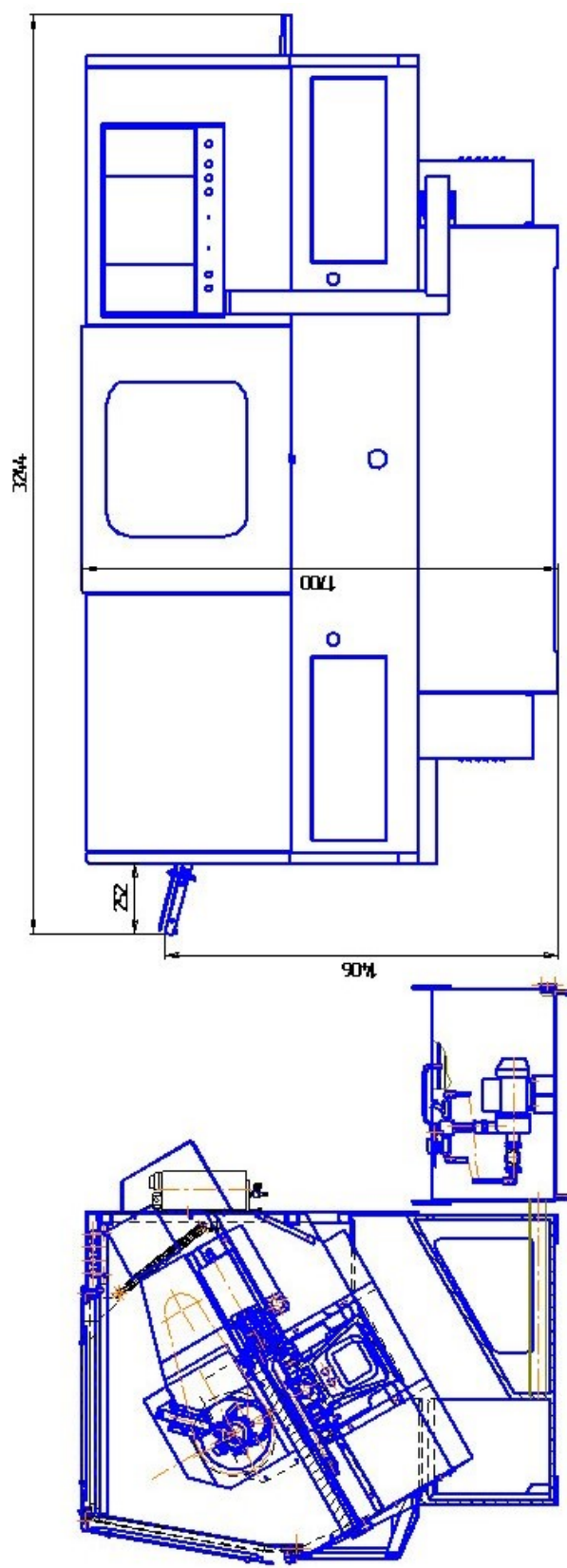


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд верстата з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

49

### 3.2 Основа

В якості основи верстата, як зазвичай, є станина. Вона є литої конструкції, має коробчасту форму з поздовжніми і поперечними стінками, що формують функціональні відсіки. Зверху з правої і лівої сторін станини є похилі площини (кут нахилу 30 градусів), на яких виконані платформи для встановлення на них траверси. Резервуаром для охолоджуючої рідини є відсік в передній частині станини, середня частина якого слугує збіркою стружки, яка видаляється транспортером в приймальний короб позаду верстату.

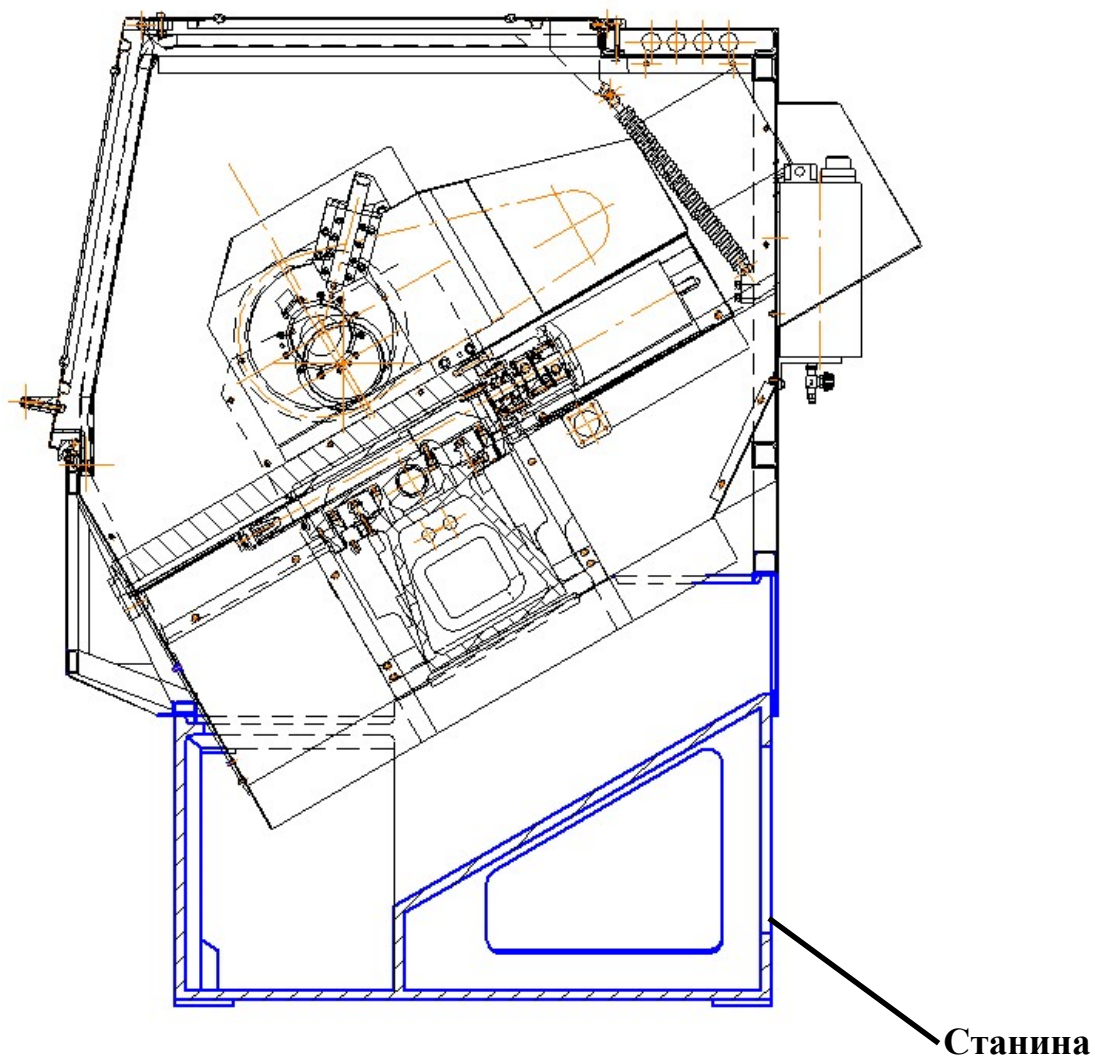


Рисунок 3.2 – Станина

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.  
50

### 3.3 Траверса

На станині розміщено траверса. На траверсі встановлюються шпиндельні бабки - ліва і права. В центральній частині траверси кріпляться напрямні для салазок поздовжнього руху супорта. Привод повздовжньої подачі кріпиться з лівого краю траверси. Блок кінцевих вимикачів поздовжнього переміщення встановлюється з передньої сторони в центрі траверси.

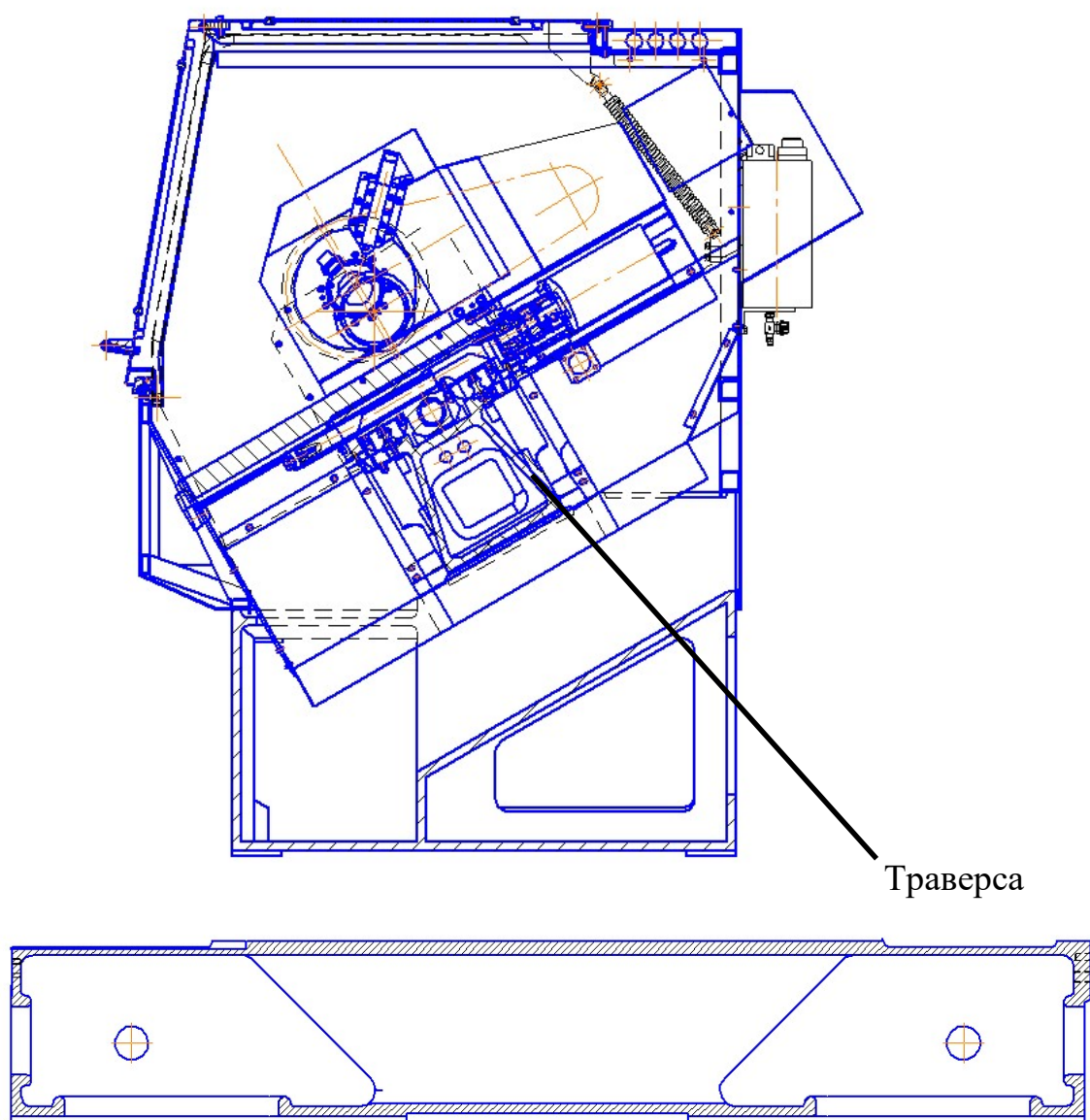


Рисунок 3.3 – Траверса

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

51

### 3.4 Супорт хрестовий

Супорт складається з поздовжніх салазок, що переміщуються вздовж осі шпинделя по роліковим напрямним, на траверсі встановлені дві рейки, а на повздовжній салазці - чотири каретки з роликами, які забезпечують їй плавність і беззаторність переміщення. Перпендикулярно осі шпинделя в прямокутних пазах повздовжніх салазок переміщується поперечна салазка, що встановлено за допомогою чотирьох ролікових кареток на дві поперечні рейки.

Підведено мастило до місць тертя напрямних крізь корпус кареток від примусової імпульсної системи змащування плунжерним насосом, що керується від ЧПК. За допомогою живильника МІ-8 розподіл масла проводиться по точках мастила. Його встановлено на плиті, яку прикріплено до повздовжньої салазки з задньої сторони. Для захисту напрямних від попадання в них бруду або стружки в конструкції верстату використані скребки фірми Nestego, які встановлені на торцях повздовжніх і поперечних салазок. Такі ж скребки встановлені на клинах.

На поперечному і повздовжньому напрямках переміщення салазки встановлені блоки електроперемикачів, які взаємодіють з кульковими кулачками. Кулачки керування електроперемикачами повздовжнього переміщення встановлені на лінійці, що закріплена на трубі. Ця труба кріпиться до бічної поверхні повздовжніх салазок. Кулачки керування поперечного переміщення встановлюються на планці.

При наїзді кулачків поперечної або повздовжньої салазки на аварійний вимикач привод вимикається. Для виведення супорта з цього положення необхідно повернути гвинт повздовжнього або поперечного переміщення. Для цього в торці гвинта (протилежного від електродвигуна) є шестигранний отвір  $S = 10\text{мм}$ .

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

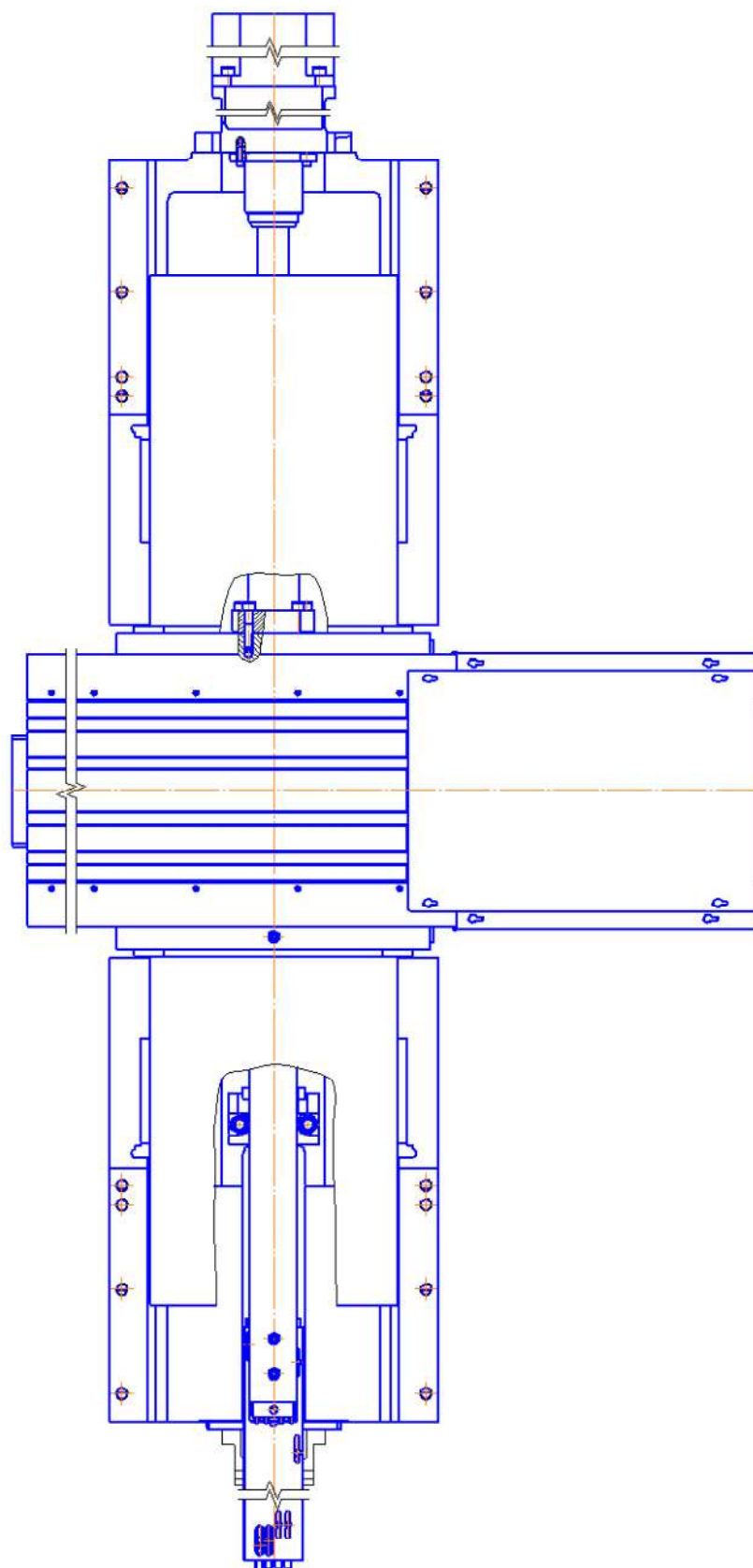


Рисунок 3.4 – Хрестовий супорт

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

53



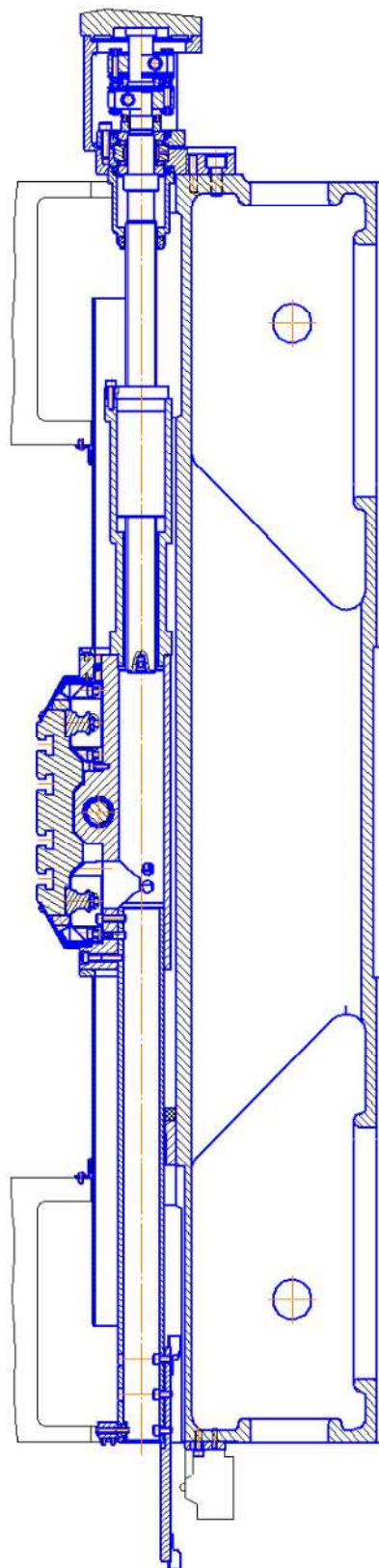


Рисунок 3.5 – Повздовжній супорт

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

54

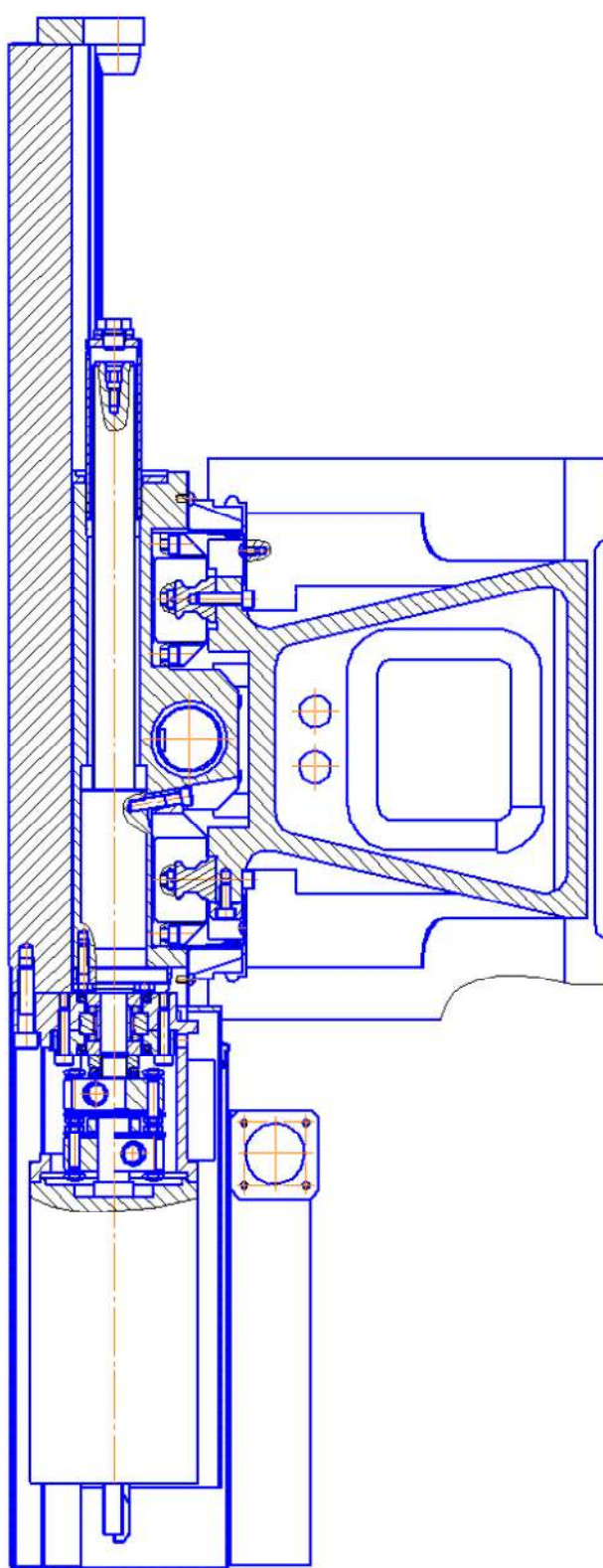


Рисунок 3.6 – Поперечний супорт

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

55

Саме повздовжнє переміщення салазок здійснює синхронний електродвигун, що передає обертання через компенсаційну муфту на повздовжній гвинт кульково-гвинтової пари. А поперечне переміщення супорта здійснює синхронний двигун через компенсаційну муфту на поперечний гвинт (кульково-гвинтові пари). Для неуможливлення різких ударів салазок, в їх крайніх положеннях призначено буфера.

### 3.5 Рухома шпиндельна бабка

Шпиндельна бабка (рис. 3.7) складається з електродвигуна, зубчастопасової передачі та, безпосередньо, шпинделя на опорах кочення у вигляді 2 радіально-упорних кулькових однорядних підшипників, що встановлено в корпусі.

Корпус шпиндельної бабки кріпиться на поперечну каретку супорта. Зубчастопасова передача схована в кожух.

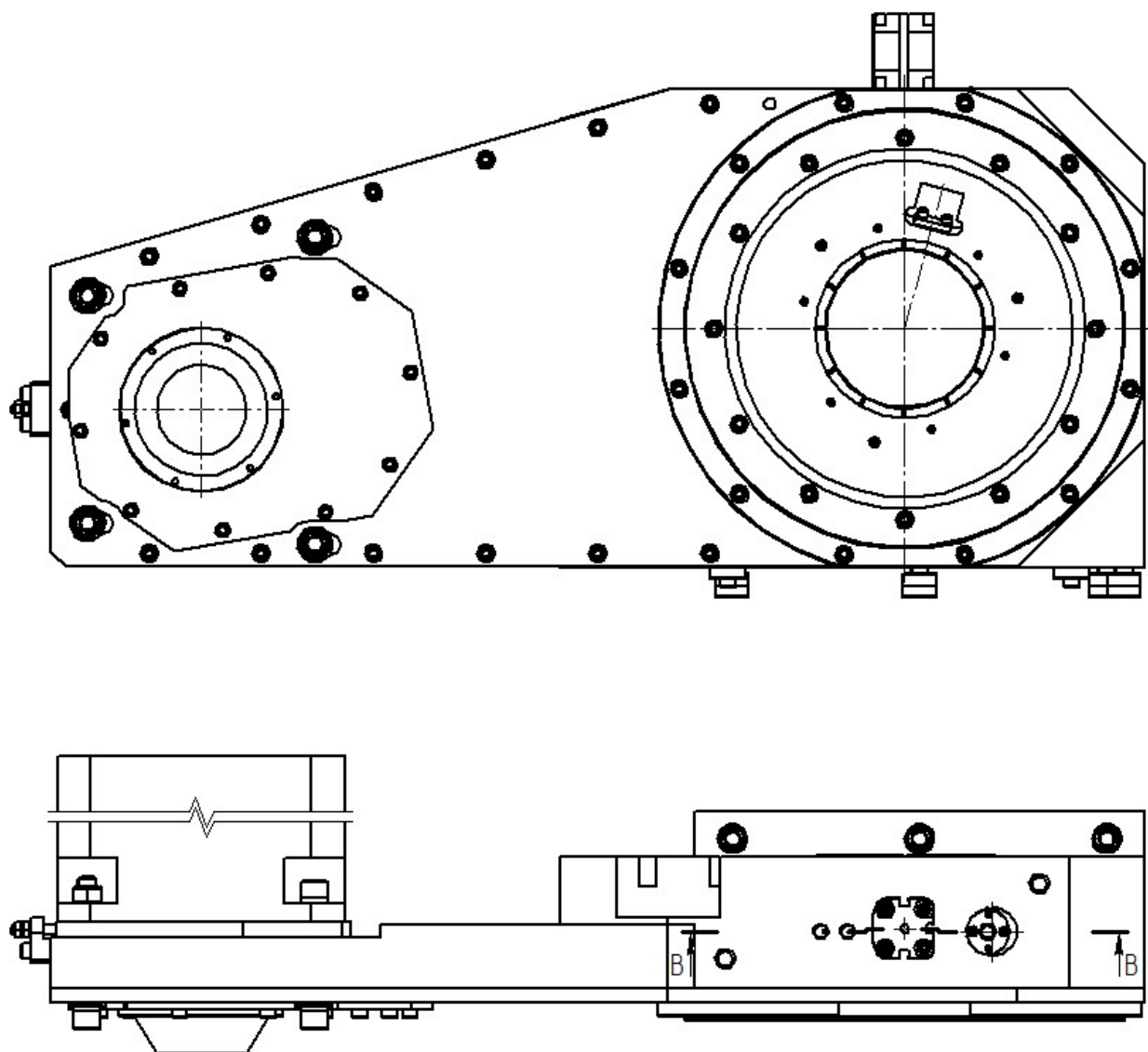


Рисунок 3.7 – Шпиндельна бабка

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

57

### 3.6 Цанговий затискний механізм

Механізм затиску (рис. 3.8) шпиндельної бабки складається з двох зворотно розташованих одна одній цанг, які мають на хвостах праву та ліву різі. Хвостові частини між собою з'єднані втулкою затиску, яка має зубчастий венець на зовнішній циліндричній поверхні. В зачеплення з ним входять сателіти, що встановлено на осях в корпус шпинделя. Сателіти входять в зачеплення з зовнішньої сторони з диском затиску-розтиску. В корпусі шпинделя встановлено штифтові шпонки від провороту цанг.

Затиск деталі відбувається наступним чином. При розкручуванні шпинделя до робочої частоти обертання крутний момент передається через штифтові шпонки та сателіти цангам та втулці затиску з одного боку та диску затиску-розтиску – з іншого боку. Виходячи з того, що диск має меншу швидкість обертання, починає обертатися відносно шпинделя і цанг втулка затиску, зводячи цанги одна до одної. При такому осьовому переміщенні цанг відбувається затиск деталі пелюстками обох цанг.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

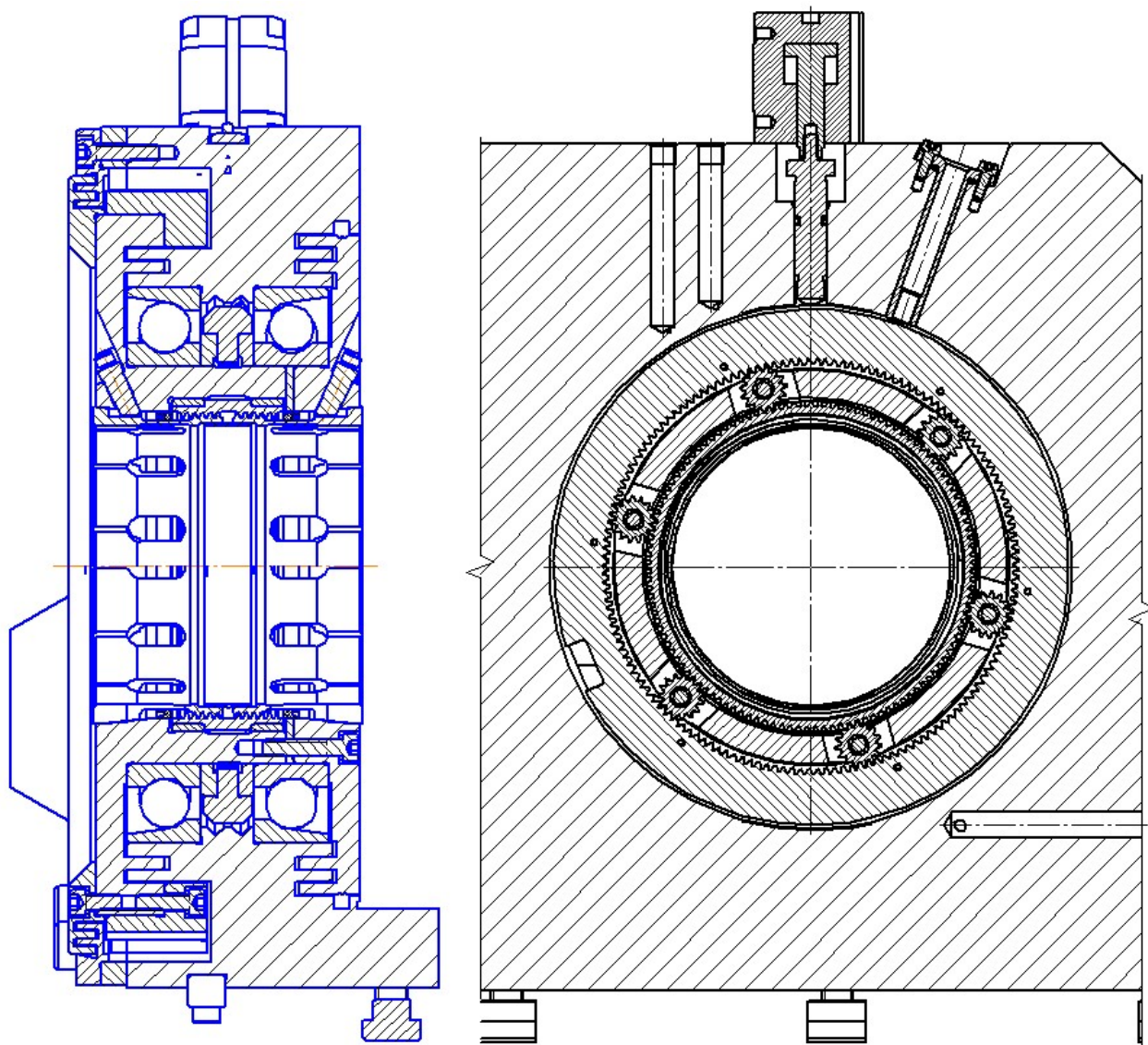


Рисунок 3.8 – Цанговий затискний механізм

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

59

### 3.7 Маніпулятор подачі заготовок

Маніпулятор подачі заготовок (рис. 3.9) призначений для подавання з вхідного лотка заготовки в затискний механізм шпиндельної бабки. Він кріпиться до тіла траверси верстату і складається він з приймальної циліндричної труби з задвижкою та подавального штовхача.

Під час роботи в процесі вібрації верстату заготовка може випасти з циліндричної труби. Цьому випадку перешкоджає: з одного боку – задвижка, з іншого – штовхач.

При подачі деталі в робочу зону верстату задвижка відкривається за допомогою пневмоциліндру, що розташовано в задній частині маніпулятора, і заготовка подається вперед до затискного механізму шпиндельної бабки штовхачем, що отримує рух від горизонтального пневмоциліндру.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

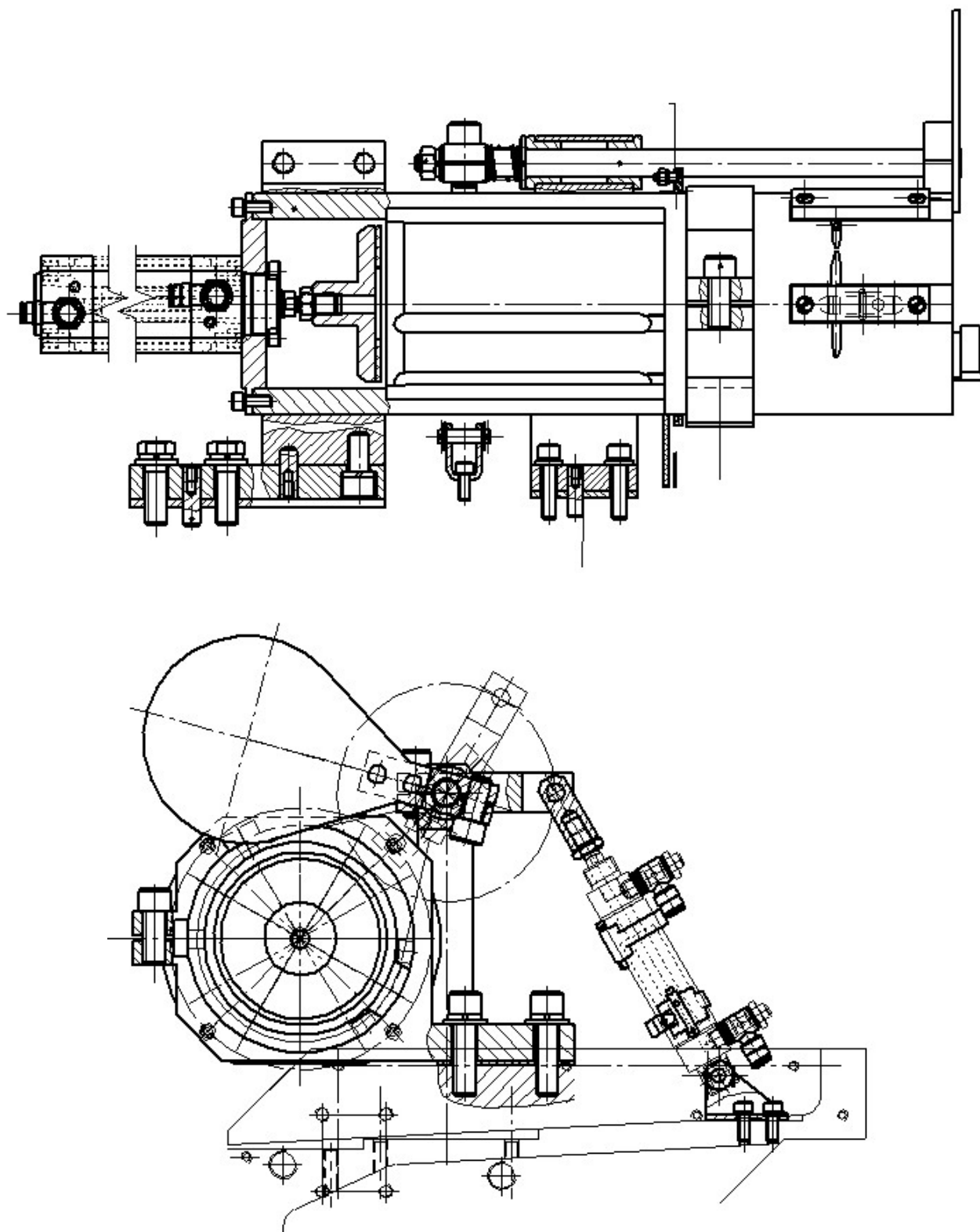


Рисунок 3.9 – Маніпулятор подачі заготовок

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

61



### 3.8 Маніпулятор забирання деталей

Маніпулятор правий (рис. 3.10) призначений для забирання оброблених деталей зі шпиндельної бабки. Він кріпиться до траверси верстата і складається з видвижної штанги та механізму розтязку.

Після закінчення обробки шпиндельна бабка розташовується навпроти правого маніпулятора та оброблена деталь розтискається. До деталі видвигається штанга за допомогою повздовжнього пневмоциліндру. Механізм розтязку спрацьовує за рахунок провороту центрального валу від свого пневмоциліндру, що розташовано в задній частині видвижної штанги. Штанга переміщується в зону сбросу деталі та розтискний механізм відпускає деталь.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

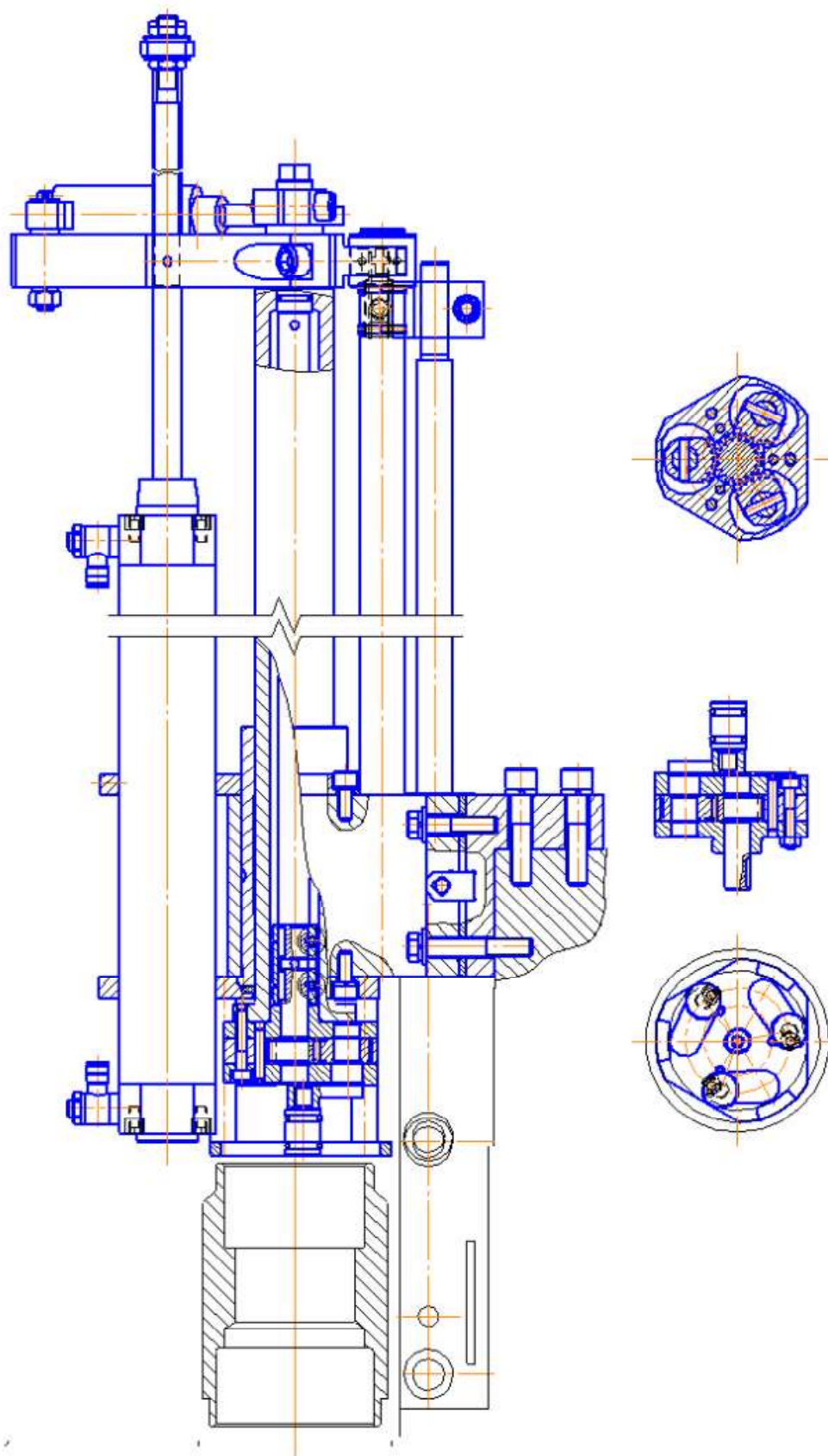


Рисунок 3.10 – Маніпулятор забирання деталей

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

63

### 3.9 Лоток введення заготовок

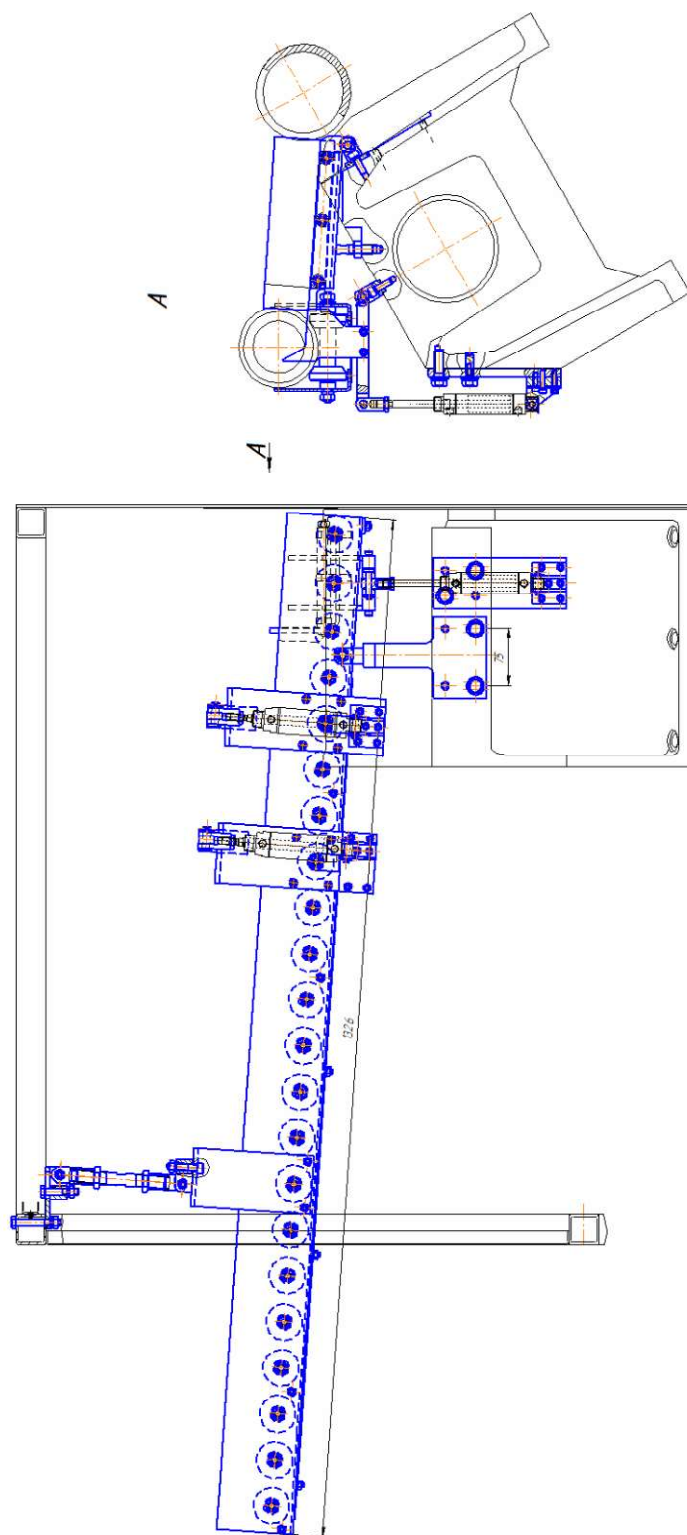


Рисунок 3.11 – Лоток введення заготовок

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

64

Лоток введення заготовок (3.11) слугує для подачі заготовок із зовні верстата до маніпулятора подачі заготовок. Він являє собою рольганг, що закріплюється частково на траверсі верстату, а частково – на зварній рамі, та механізм поштучної подачі заготовок.

Рольганг може мати на собі декілька деталей. Механізм поштучної подачі забере з рольгангу лише одну крайню. Це відбувається за допомогою нижнього пневмоциліндру, що піднімає на важелі ножі, які скочують заготовку з роликів рольгангу у подавальну трубу маніпулятора подачі заготовок.

### **3.10 Лоток виведення деталей**

Лоток виведення деталей (3.12) слугує для виводу заготовок з маніпулятора забирання деталей на зовню верстату. Він, як і лоток введення заготовок, представляє собою рольганг, що закріплено частково на траверсі верстата, частково – на зварній рамі, та механізм прийому заготовок.

Правий маніпулятор скидає деталь в механізм прийому після її обробки. При спрацюванні пневмоциліндру приймальний лоток нахиляється, і деталь потрапляє до рольгангу. Рольганг розташовано під кутом. Завдяки цьому деталь по рольгангу скочується самостійно.

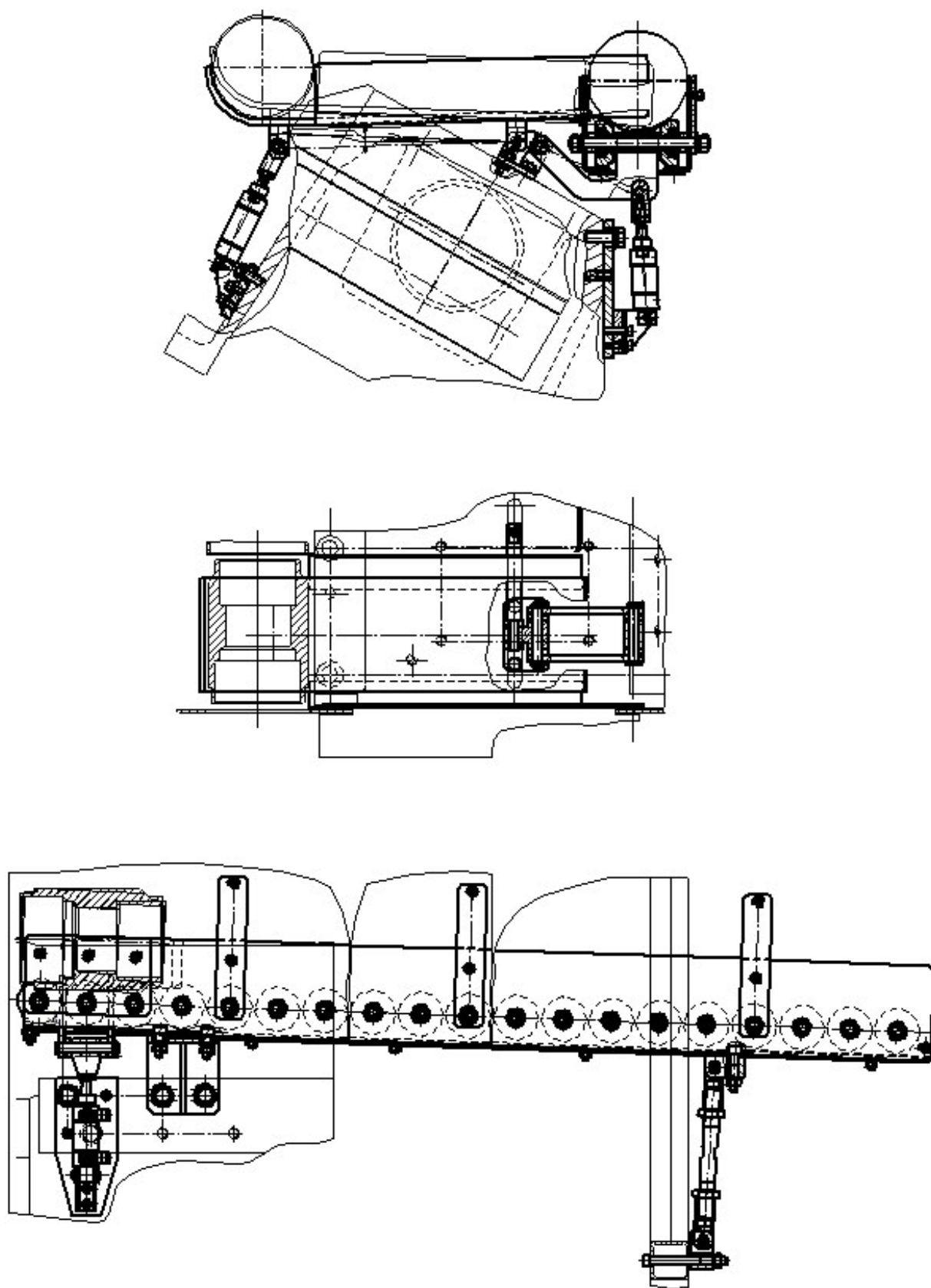


Рисунок 3.12 – Лоток виведення деталей

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВ-8119мп.МД.000 ПЗ

Арк.

66

### 3.11 Система керування верстатом

На запропонованому верстаті встановлено систему ЧПК HEIDENHAIN.

HEIDENHAIN TNC системи ЧПК призначені для фрезерних і фрезерно-токарних верстатів, а також – для оброблювальних центрів. Вони підходять для багатьох додатків: починаючи з простої і компактної TNC 128, 3-х осьового прямокутного управління, та до контурної системи ЧПК TNC 640 (до 18 осей і шпиндель). TNC 640 - це система ЧПК для фрезерно-токарної обробки. Системи ЧПК HEIDENHAIN - багатофункціональні: використання як цехового програмування під час роботи, так і віддаленого програмування, підходить для автоматизованого виробництва. Прості фрезерні операції системи виконують також надійно, як і високошвидкісне фрезерування, наприклад, в TNC 640 і iTNC 530, або 5-осьова обробка із поворотною головкою або круглим столом. За принципом "знизу-вгору" керуючі програми для TNC сумісні: керуючі програми, написані на старих TNC, всі сумісні з новими системами ЧПК. При переході на більш "високі" системи ЧПК. TNC-оператору не треба перенавчатися - йому достатньо лише ознайомитися з новими додатковими функціями.

### 3.12 Основні параметри верстату

#### Основні параметри

- |   |       |
|---|-------|
| 1. Показники оброблюваної заготовки:              | муфта |
| 1.1 Діаметр заготовки, мм                         | 100   |
| 1.2 Довжина заготовки, мм                         | 150   |
| 2. Показники робочих та встановлюючих переміщень: |       |

2.1	Дискретність задання переміщень по вісям X и Z, мм	0.001
2.2	Точність позиціювання, мм	0.01
2.3	Кількість керуючих координат	2
3.	Показники основних й допоміжних рухів:	
3.1	Границі частот обертання шпинделів, об/хв	100-1000
3.2	Максимальна швидкість переміщення супорта, мм/хв:	
	- поперечних (вісь X)	15000
	- повзовжних (вісь Z)	15000
3.3	Величини подач, мм/об:	
	- поперечного супорта	0,02 - 0,5
	- повзовжнього супорта	0,02 - 0,5
4.	Найбільше зусилля подачі, Н по вісям	
	X	6000
	Z	8000
5.	Максимальна рекомендована швидкість робочої подачі, мм/хв	
	поперечної (X)	20000
	повздовжньої (Z)	20000
6.	Показники силових характеристик	
6.1	Найбільший крутний момент на шпинделі, Нм	100
6.2	Потужність приводу головного руху, кВт	15
7.	Номінальна частота обертання електродвигуна	
	головного руху, хв	1500
8.	Діапазон регулювання частоти обертання	
	електродвигуна головно руху, хв	100....4500
9.	Тип електродвигунів приводів подач:	
	- повзовжной	1FK6083-6AF71-1AA2
	- поперечної	1FK6063-6AF71-1AB2
10.	Номінальний крутний момент електродвигунів	

приводів подач, Нм :

- продольної	16
- поперечної	11

#### 11. Номинальна частота обертання електродвигунів

приводів подач, хв :

- повздовжньої	3000
- поперечної	3000

### 3.13 Потужність та силові навантаження

Межі використання запропонованого верстата обмежуються потужністю електродвигуна головного руху, яка не повинна перевищувати 9 кВт по ваттметру.

Перевищення потужності при роботі в зоні низьких і середніх чисел обертів не допускається.

Найбільше зусилля, що допускається міцністю механізмів поперечних і поздовжніх подач, становить 350 кг при повздовжньому точінні й 350 кг при поперечному точінні.

Слабкою ланкою верстату є зубчасто-пасова передача головного руху (шпинделя). Рекомендується програмувати верстат на швидкісних режимах, як найбільш продуктивних, що дають кращу чистоту оброблюваної поверхні.

### 3.14 Загальний опис конструкції

Верстат призначений для обробки деталей типу валів, гільз, втулок, де необхідна співісна обробка з двох протилежних сторін деталі. Обробка

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69



проводиться з двох сторін однієї деталі послідовно. Основною сферою застосування є серійне машинобудівне виробництво.

На верстаті можна встановлювати різні елементи і системи, що підвищують надійність і точність роботи, які розширюють технологічні можливості, таких як:

- система контролю положення різальної кромки інструменту за допомогою датчика дотику;
- система контролю поламки і затуплення ріжучого інструменту;
- напрямні кочення;
- лінійні привода та лінійні датчики й ін.

Конструктивно верстат складається зі стонини, траверси, шпиндельної бабки, змонтованої на хрестовому супорті. В шпиндельній бабці розташовано шпиндель з затискачем оброблюваної деталі. Через зубчастий ремінь шпиндель з'єднаний з двигуном головного руху. Ліворуч і праворуч від шпиндельної бабки розташовано різцеве оснащення. У блоках можна закріплювати як нерухомий інструмент, так і приводний інструмент для обробки шпонкових пазів, фрезерування лисок, свердління поперечних отворів і т. ін.. Верстат оснащений автоматичним завантаженням заготовок і автоматичним вивантаженням готових виробів. Передбачені накопичувачі заготовок і готових деталей.

Обробка відбувається в автоматичному режимі. Програми керування можна вводити безпосередньо з пульта або завантажувати з персонального комп'ютера через послідовний інтерфейс. На верстаті підтримується постійна швидкість різання.

Конструкція хрестового супорта забезпечує дуже зручну розстановку оснащення для обробки деталей як на лівому так і на правому боці шпинделя. Високу довговічність і точність переміщення супорта забезпечують загартовані сталеві напрямні в поєднанні з полімерним покриттям салазок з

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

наповненого фторопласта. Супорт забезпечений автономною системою дозованого змащування.

Завантаження-вивантаження заготовок відбувається автоматично. Конструкція транспортної системи забезпечує швидке переналагодження в широкому діапазоні розмірів оброблюваних деталей.

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

## Висновки

В дипломному проекті представлено нову конструкцію верстата з ЧПК з рухомою шпиндельною бабкою. В ході виконання проекту було запропоновано наступні рішення:

1. В результаті аналізу вимог до верстату зроблено висновок, що потрібно обробляти деталі за один установ з обох боків. Аналіз компоновок токарних верстатів з ЧПК обґрунтовано надав доцільність використання для обробки заданої деталі такої компоновки робочих органів, де на хрестовому супорті розташована шпиндельна бабка, а інструмент – на нерухомому корпусі.
2. На основі розрахунків кінематики верстату та обчислення режимів різання було прийнято наступні швидкісні характеристики верстату:
  - максимальна частота обертання шпинделя  $n_{\max} = 1000$  об/хв;
  - мінімальна частота обертання шпинделя  $n_{\min} = 100$  об/хв;
  - потужність двигуна  $N_{\text{ел}} = 9$  кВт.
3. Проведено конструкторські розрахунки шпинделя. Прийнято у якості правої та лівої опори однорядний радіально-упорний кульковий підшипник 104693.
4. Запропоновано наступні складові верстату. На станині розміщено горизонтальну траверсу. Хрестовий супорт розташовано на траверсі та отримує поперечні та повздовжні переміщення каретки передачами гвин-гайка кочення від окремих двигунів. Шпиндельна бабка містить двигун та розташована на столі хрестового супорта. Двигун передає оберти шпинделю за допомогою зубчастопасової передачі. Затискний механізм представляє собою дві симетрично розташованих в корпусі шпиндельної бабки цанги. Автоматичний процес обробки партії деталей забезпечується системою завантаження-розвантаження

					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

деталей. Вона представлена двома маніпуляторами з пневмоприводами та лотками вводу заготовом та виводом деталей. Електрообладнання розташовано в електрошафу. Робоча зона верстату огорожена кожухами та має стружковідведення.

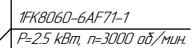
					<i>МВ-8119мп.МД.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

## Перелік посилань

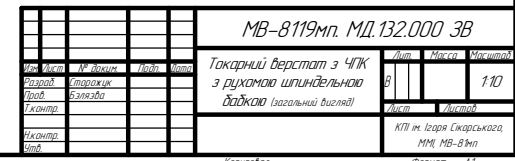
1. Кузнєцов Ю.Н. Верстати з ЧПУ: Навчальний посібник. К.: Вища школа: 1991.-278 с.
2. Металорізальні верстати. Підручник для машинобудівних вузів./Під ред. В.Є.Пуш.- М.: Машинобудування, 1985.- 256 з
3. Проектування металорізальних верстатів і верстатних систем: Довідник-підручник у 3-х томах./Під общ. Ред. А.С.Проникова, М.: Видавництво МГТУ ім. Н.Э. Баумана: Машинобудування,1995.
4. Кузнєцов Ю.Н., Срибний Л.Н. Підвищення ефективності токарських автоматів. К.: Техніка, 1969.-168 с.
5. Орликів М.Л., Кузнєцов Ю.Н. Проектування затискних механізмів автоматизованих верстатів.- М.: Машинобудування, 1977.-142 с.
6. Верстати з ЧПУ (спеціалізовані)/ Під ред. В.А.Лещенко.- М., Машинобудування, 1979.-592 с.
7. Довідник « Верстати з програмним керуванням». М.: Машинобудування, 1975, 288 с.
8. Налагодження верстатів із програмним керуванням. М.: вища школа, 1976, 280 с ( автори Ковшов А.Н. і ін.).
9. Програмне керування верстатами: Підручник для машинобудівних вузів/ В.Л. Сосонкин, О.П. Михайлов, Ю.А. Павлов і ін.: Під ред. В.Л.Сосонкина.- М.: Машинобудування, 1981.- 398 с.
- 10.Металорізальні верстати. Підручник для машинобудівних вузів./Під ред. А.С.Проникова.- М.: Машинобудування, 1981.- 479 с.
- 11.Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / Под ред. В.И. Гузеева. М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.

Додатки

					МВ-8119мп.МД.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

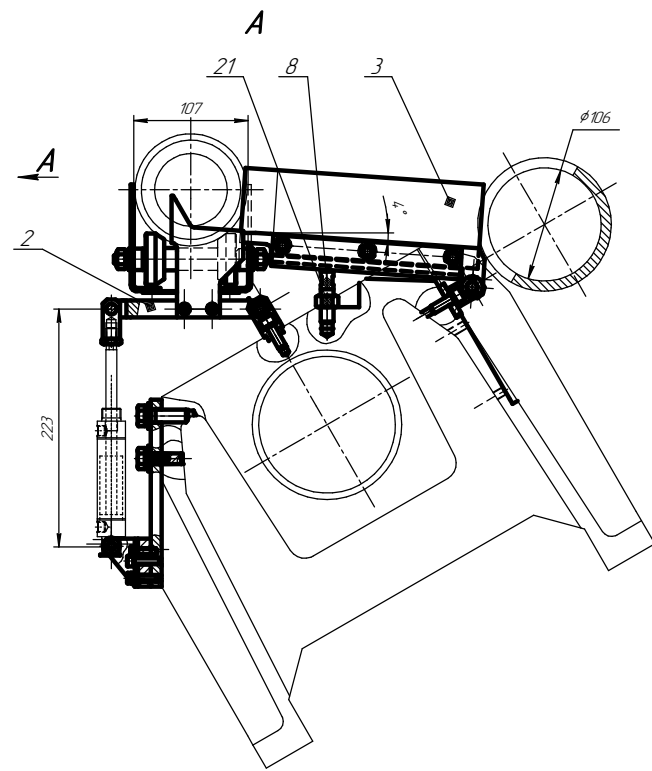


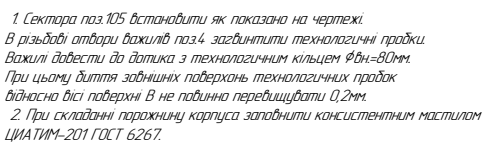
				МВ-8119мп. МД.213.000 К3			
				Токарный верстат с ЧПУ			
				з ручным шпинделью			
				б/о/к (континентальная схема привода)			
				<div> <div>Вит</div> <div>Акс</div> <div>Механика</div> </div>			
				<div> <div>В</div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>			
				<div> <div>Акс</div> <div>Акс</div> <div>Т</div> </div>			
				КПМ из Казань Сварочная			
				ММ МВ-8-Вит			







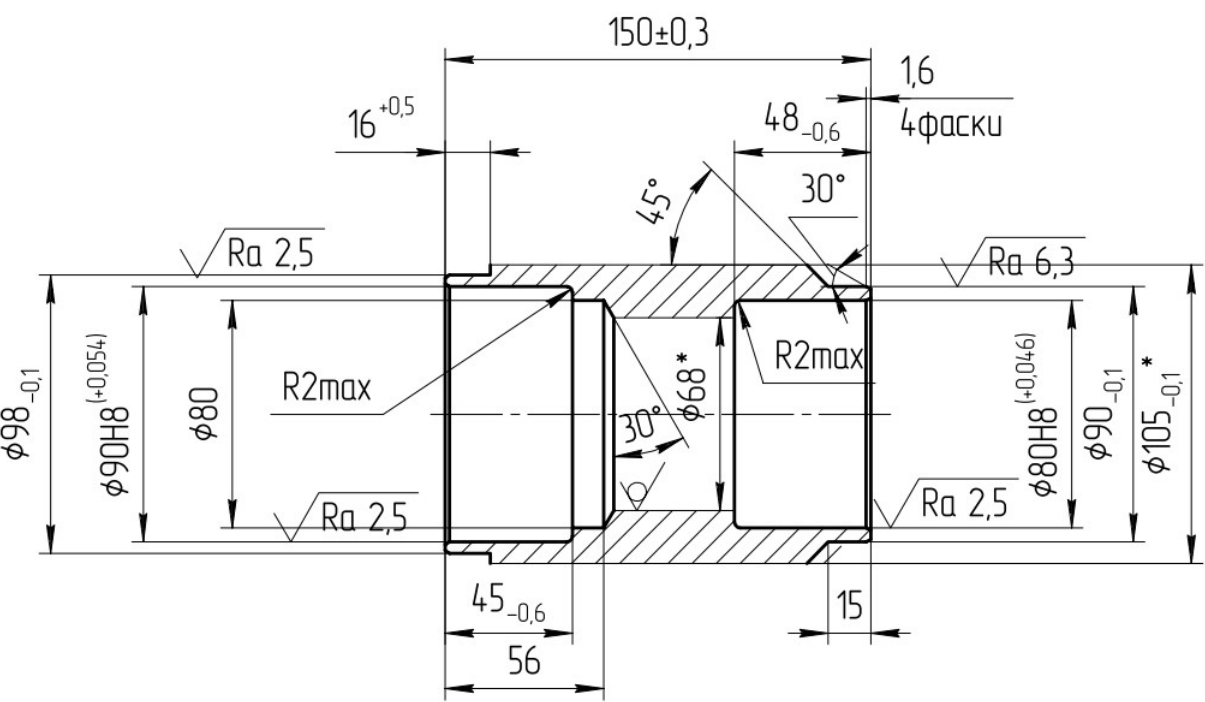
[illegible]



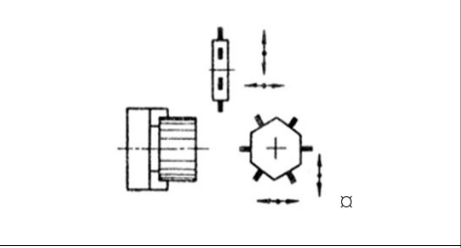
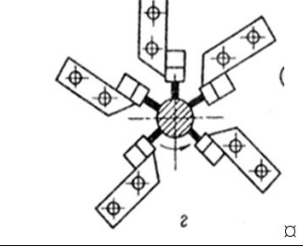
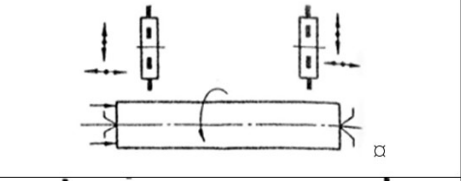
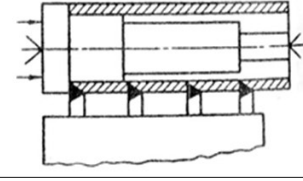
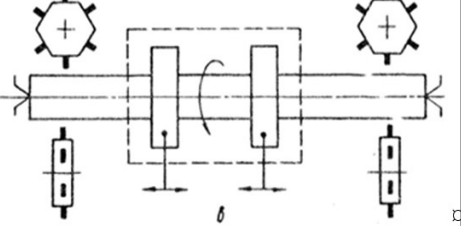
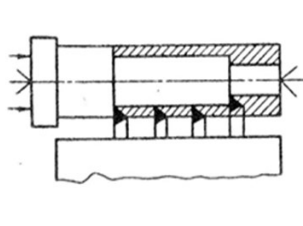
				МВ-8119мп. МД.387.000 СК												
				Манипулятор правый												
				(Кладовые крысеныя)												
				<table><tr><td>Лит</td><td>Масса</td><td>Масштаб</td></tr><tr><td>В</td><td></td><td>11</td></tr><tr><td>Лит</td><td>Масса</td><td>1</td></tr></table>				Лит	Масса	Масштаб	В		11	Лит	Масса	1
Лит	Масса	Масштаб														
В		11														
Лит	Масса	1														
				КПМ Изделия Сварочного ММ. МВ-8-Вмп												



ОБРОБЛЮВАНА ДЕТАЛЬ - МУФТА



СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ РІЗУЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ  
ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

	Два супорта для однієї сторони обробки		Декілька супортів для одночасної обробки з різних сторін
	Два супорта для обробки з обох сторін		На одному супорті декілька незалежних інструментів
	Декілька супортів для обробки з обох сторін, але шпиндельна бабка посередині		На одному супорті декілька незалежних інструментів

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ВАРІАНТ

